

**Vergleichende Untersuchungen
zur röntgenologischen und elektrischen Messung
der Länge von Wurzelkanälen**

von

Horst Lechner

aus

Ansbach

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
(Vorstand: Prof. Dr. A. Kröncke)
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt)

Vergleichende Untersuchungen zur röntgenologischen und elektrischen Messung der Länge von Wurzelkanälen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Horst Lechner

aus

Ansbach

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der Universität

Erlangen-Nürnberg

Vergleichende Untersuchungen

zur röntgenologischen und elektrischen Messung
der Länge von Wurzelkanälen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
an der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

von



Dekan: Professor Dr. med. G. Koch

Referent: Professor Dr. med. dent. A. Kröncke

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Juni 1972

Es sei mir gestattet, mich an dieser Stelle bei meinem langjäh-
rigen, hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Adolf
K r ö n c k e, für die Überlassung des Themas und für die
freundliche Beratung recht herzlich zu bedanken.

Weiterhin gilt mein besonderer Dank meinem lieben Kollegen,
Herrn Dr. Wolfgang S c h l e g e l, für die Zeichnung der Ab-
bildungen auf den Seiten 9 und 10, und dem Fotografenmeister,
Herrn Hans-Günther O t t o, für die Anfertigung der fotografi-
schen Arbeiten.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung und Problemstellung	1
II. Literaturübersicht	2
III. Methoden und Material	8
A. Methoden	
1. Das Röntgen-Meßverfahren	8
2. Elektrische Messung der Wurzelkanallänge ...	13
B. Materialien und Versuche	14
1. Vorversuche mit Drähten verschiedener Stärke	14
2. Vorversuche mit "Kanälen" unterschiedlicher Weite	15
3. Vorversuche mit flüssigen und pastösen Substanzen	15
4. Vorversuche an extrahierten Zähnen	16
5. Klinische Versuche: endodontale Längenbestimmung bei 250 Kanälen während der Behandlung	18
IV. Ergebnisse	20
V. Diskussion der Ergebnisse und Konsequenzen für die Wurzelkanalbehandlung	31
VI. Zusammenfassung	36
VII. Schrifttum	38
VIII. Protokolle zu den Versuchen	42
Lebenslauf	68

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Ist die Entscheidung zur Wurzelkanalbehandlung eines Zahnes gefallen, so ist "eine der wichtigsten Vorbedingungen zur erfolgreichen Kanalversorgung die Längenbestimmung" (LÖRINCZY-LANDGRAF, 17). Beachtet man das Prinzip jeder Wurzelbehandlung, den Hauptkanal möglichst gut aufzubereiten und schließlich dicht abzufüllen, so wird das leichter und zuverlässiger gelingen, wenn man zu jedem Zeitpunkt der Behandlung weiß, in welcher Region des Wurzelkanals die Spitze des gerade benützten Instrumentes arbeitet. Ungenügend tiefe Aufbereitung führt zwangsläufig zur mangelhaften Füllung des Kanals. Andererseits hat über das Foramen apicale hinaus kein Wurzelkanalinstrument irgend eine sinnvolle Funktion, vielmehr wird unvermeidbar das apikale Parodontium verletzt, was entsprechende klinische Symptome nach sich zieht. Außerdem wächst bei zu tiefem Aufbereiten die Gefahr der Überfüllung mit unnötiger Verlagerung von Füllmaterial in die Region des apikalen Parodontiums.

Für die klinische Ermittlung der Länge eines Wurzelkanals sind verschiedene Vorschläge gemacht worden, wie in der Literaturübersicht näher umrissen wird. Weithin gebräuchlich ist wohl das Röntgen-Meßverfahren, wenngleich ihm mit dem Zeitbedarf während der Behandlung, gelegentlich auch wegen wiederholt erforderlicher Röntgenaufnahmen, gewisse Nachteile anhaften (Projektionsfehler). Auf der anderen Seite steht die vor allem von SUNADA (28) entwickelte und propagierte elektrische Meßmethode. Aufgabe dieser Untersuchung ist es, die Stichhaltigkeit beider Methoden miteinander zu vergleichen und festzustellen, in welchen Fällen die eine oder die andere Methode in der Praxis vorzuziehen ist.

II. LITERATURÜBERSICHT

Es werden im Rahmen dieser Arbeit keineswegs sämtliche in der Literatur beschriebenen Methoden zur endodontalen Ermittlung der Zahn- bzw. Wurzelkanallänge ^{x)} miteinander verglichen oder genauer untersucht. Doch sei auf einige zum Teil zusammenfassende Veröffentlichungen über die gebräuchlichsten Verfahren zur Zahnlangenbestimmung vor einer Wurzelbehandlung hingewiesen.

BREGMAN (2) vertritt "eine mathematische Methode zur Zahnlangenbestimmung", welche die Röntgenaufnahme eines Zahnes mit eingelegtem Wurzelkanalinstrument bekannter Länge voraussetzt, und stellt dazu eine Formel für die Berechnung der tatsächlichen Zahnlänge auf.

GREENE (7) und GROSSMAN (8) geben die durchschnittlichen Zahnlangen (in mm) an:

Tabelle 1

	1	2	3	4	5	6	7
OK	23	22	26,5	20,5	21,5	20,5	20
UK	20,5	21	25,5	20,5	22	21	20

Bis in diese Durchschnittstiefen soll der Räumler vor einer Röntgen-Meßaufnahme eingeführt werden. Zur Berechnung der wirklichen Länge legt GROSSMAN (8) eine Formel zugrunde (sinngemäß):

-
- x) "Zahnlänge" und "Kanallänge" sind streng voneinander zu trennende Begriffe (vgl. W. MEYER 22). Unter Zahnlänge verstehen wir die Entfernung Kronenoberkante - Apex; die Kanallänge definieren wir als Distanz Kronenoberkante - Foramen apicale. Beide Werte können, müssen aber keinesfall identisch sein (vgl. Abb. 4, S. 10).

$$\underline{(A \cdot B) : C = D}$$

- Hierbei ist A ... bekannte Länge des Instruments im Zahn,
 B ... scheinbare Zahnlänge auf dem Röntgenbild,
 C ... scheinbare Instrumentenlänge auf dem Bild,
 D ... gesuchte tatsächliche Zahnlänge.

KESZTHELYI (12) betont "die Wichtigkeit der Einmessung der bei der Wurzelkanalbehandlung verwendeten Instrumente" und nennt zu diesem Zweck folgende Möglichkeiten:

1. Berücksichtigung der Durchschnittslänge der Zähne, die er aus einem Mittelwert der Angaben verschiedener Autoren errechnet:

Tabelle 2

	1	2	3	4	5	6	7	8
OK	25	23	27	21	22	22	21	18
UK	19	20	23,5	20	20	20	19	16
⁺ ⁻ 10 % je nach Konstitution des Patienten (nach KESZTHELYI 12).								

2. Hinzuziehen des Tastsinnes beim Sondieren voll ausgebildeter Wurzelkanäle, da diese sich an der apikalen Zement-Dentingrenze verengen und dadurch dem Vordringen eines Instrumentes fühlbaren Widerstand entgegensetzen.
3. Schmerzangabe seitens des Patienten, sobald das apikale Desmodont mit dem Instrument erreicht wird. (Eine verstärkte Blutung aus dem Kanal kann als Hinweis gelten, daß das Parodontium tangiert wurde).
4. Die Röntgen-Meßaufnahme.
5. Die elektrische Meßmethode nach SUNADA (28).

Als Folgen einer mit uneingemessenen Wurzelkanalinstrumenten durchgeführten Wurzelkanalbehandlung kommen nach KESZTHELYI (12) in Betracht: "schwere und leichtere Entzündung des Periodontiums, Überfüllung des Wurzelkanals, kurze, rudimentäre Wurzelfüllungen."

KRÖNCKE (16) arbeitet übereinstimmend mit A. MAYER, KETTERL u. a. mit sogenannten "Sicherheitstiefen". Sie werden ab Kronenoberkante gerechnet und geben die Eindringtiefe an, bis in die ein Räumers für die Röntgen-Meßaufnahme eingebracht werden kann, ohne das apikale Desmodont zu tangieren.

Tabelle 3

	1	2	3	4	5	6	7
OK	20 ^{x)}	18	20	20	20	18	18
UK	18	18	20	18	18	18	18

Die Distanz Räumerspitze - Apex wird an Hand des Röntgenbildes abgeschätzt und zur "Sicherheitstiefe" addiert. Dies ergibt dann die Aufbereitungstiefe bei Behandlung eines infizierten Kanals.

O'MULLANE (24) vertritt ebenfalls die Auffassung, daß "eine genaue Schätzung der Zahnlänge wünschenswert für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist". Seine "Methode zur Schätzung der Zahnlänge bei der Wurzelkanalbehandlung" unterteilt er in drei Kategorien :

1. Methoden auf der Basis von "Versuch und Irrtum" - dazu zählt er vor allem die Röntgen-Meßaufnahme mit ihren Varianten nach COOLIDGE, GROVE, SCHNUR, GROSSMAN und anderen Autoren-.
2. Elektrische Meßmethoden (nach SUNADA 28, und GORDON).

x) BÜHLEN (3) empfiehlt aufgrund seiner Untersuchungen für 11 und 21 eine Sicherheitstiefe von nur 18 mm.

3. Methoden auf der Basis mathematischer Verhältnissgleichungen - diese berücksichtigen die bei der Röntgenaufnahme mögliche Verzerrung dadurch, daß nach der Meßaufnahme bei eingelegtem Instrument definierter Länge die meßbaren Größen (siehe oben bei GROSSMAN) in eine Verhältnissgleichung eingesetzt werden (nach BLAYNEY, zitiert von O'MULLANE 24, BREGMAN 2, und GROSSMAN 8).

Von O'MULLANE (24) wird auch ein Wurzelkanal-Meßinstrument nach SCHNUR angegeben, das auf seiner Oberfläche eine Skala besitzt, welche aus zwei Metallen mit verschieden stark ausgeprägter Röntgenstrahlenabsorption besteht.

SUNADA (28) unterteilt in Methoden der Zahnlängenbestimmung, die sich der Röntgen-Meßaufnahme einschließlich einer nachfolgenden Berechnung mit Hilfe einer Verhältnissgleichung, und in solche, die sich des Tastgefühls des Behandlers oder der Schmerzangabe des Patienten bedienen, sobald z. B. ein Kerr-Räumer den Apex erreicht hat. Als dritte Möglichkeit stellt er seine "neue Methode zum Messen der Wurzelkanallänge" zur Diskussion, nämlich ein elektrisches Verfahren, welchem die Feststellung zugrunde liegt, daß bei jedem Patienten zwischen Wurzelspitze und Mundschleimhaut beim Anlegen einer schwachen, konstanten Gleichstromquelle stets die gleiche Strommenge fließt, deren Größe auf einem Mikroamperemeter abgelesen werden kann. Eine nähere Beschreibung folgt noch, da dieses Verfahren in unseren Ausführungen als Grundlage eingehender Versuchsreihen dient und zusammen mit der konventionellen Röntgen-Meßaufnahme angewandt wird.

VANDE VOORDE (29) zitiert in seinem "Überblick über die Methoden zur Bestimmung der endodontalen Arbeitslänge" HEALY (9), der ebenfalls vier allgemein gebräuchliche Methoden zur Ermittlung der Zahnlänge zusammenfaßt:

- " 1. Kenntnis der Durchschnittslänge des einzelnen Zahnes,
2. Überprüfung der Röntgenaufnahme,
3. Empfindlichkeit des apikalen Parodontiums gegen die Instrumentenspitze,
4. Ertasten des Foramen apicale."

Außer der elektrischen Methode nach SUNADA (28) erwähnt VANDE VOORDE (29) auch ein Verfahren von BEST et al. (1), das eine spezielle Meßskala zu Hilfe nimmt, mit der die projektionsbedingten Verzerungen des Röntgenbildes kompensiert werden sollen.

Zum "Abschätzen der endodontalen Arbeitslänge" empfiehlt VANDE VOORDE (29) einen eigenen Weg:

- " 1. Messen der Zahnlänge auf dem Röntgenbild mit einer Millimeter-Skala,
2. Multiplizieren dieser Zahnlänge nach dem Röntgenbild mit 0,054 (5,4 %),
3. 0,3 zu dem Produkt von Punkt 2 hinzuzählen,
4. Abziehen der Summe von Punkt 3 von der auf dem Röntgenbild gemessenen Zahnlänge (Punkt 1 !) ergibt die endodontale Arbeitslänge. "

WALTER und KÖVÁGÓ (30) verwenden für die Röntgen-Meßaufnahme Miller-Nadeln, "an denen sich im Abstand von 5 mm zirkuläre, auch auf dem Röntgenbild sichtbare Einschnitte befinden." Für die Röntgenaufnahme wird die Nadel bis zu einer bekannten Tiefe eingeführt und ihr Abstand zum Apex an Hand der Markierungen festgelegt.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der Erfolg einer genauen Ermittlung der Zahnlänge bzw. der Kanaltiefe nicht, wie z. B. bei WALTER und KÖVÁGÓ (30), am Ergebnis der späteren Wurzelfüllung gemessen wurde. Es hätten sich nämlich sonst zuviele Imponderabilien eingeschlichen, sei es, da die Behandlungen zum größten Teil zu Übungszwecken von Studierenden der Zahnheilkunde ausgeführt wurden, sei es, da ein gewisser Pro-

zentsatz von Wurzelkanalbehandlungen von vornherein nur als ein Versuch der konservierenden Zahnerhaltung gewertet werden mußte, der auch bei einer röntgenologisch einwandfreien Wurzelfüllung zum Scheitern verurteilt sein konnte. Nach PRITZ (25) ist ohnehin "das Röntgenbild nicht geeignet, über den Erfolg einer Wurzelbehandlung eine Aussage zu machen". Den gleichen Standpunkt, wenn auch gemäßigter definiert, vertritt FISCHER (5) : "Die röntgenologische Kontrolle einer Wurzelkanalbehandlung läßt im Hinblick auf die Dokumentation eines Behandlungserfolges viel zu wünschen übrig."

Auf die Schwierigkeiten, auf die eine spätere klinische Nachkontrolle "zur statistischen Beurteilung von Wurzelbehandlungserfolgen" stößt, hat MÜHLEMAN (23) eingehend hingewiesen.

Die Forderung nach Genauigkeit der Meßmethoden sehen wir bei einer Streubreite der Ergebnisse von $\pm 2,5 \%$ erfüllt. Das bedeutet bei einer Zahnlänge von 20 mm $\pm 0,5$ mm Abweichung von der "tatsächlichen" Länge.

O'MULLANE (24) äußert dazu folgendes: "Welche Methode auch angewandt wird, die Länge eines Zahnes abzuschätzen, es muß erkannt werden, daß das Ergebnis nur einen Schätzwert darstellt."

Auf Grund der vorausgegangenen Übersicht über die verschiedenen Methoden der endodontalen Zahnlängenermittlung läßt sich feststellen: die Vielzahl der Möglichkeiten kann nicht darüber hinwegtäuschen, daß es sich dabei nur um "Schätzungen" (O'MULLANE, 24) handelt und nicht um derart gesicherte Ergebnisse, wie sie z. B. mit einer Schublehre oder gar mit einem Mikrometer am extrahierten Zahn erhalten werden können. Mit der von uns vorgeschlagenen Kombination der Methode nach SUNADA (28) mit der konventionellen Röntgen-Meßaufnahme soll jedoch eine Verbesserung der Ergebnisse erreicht werden, was in den folgend beschriebenen Untersuchungen dargelegt wird. Daß nach einer exakten Bestimmung der Zahnlänge bzw. der Kanal- und Aufbereitungstiefe die Erfolgsquote der Wurzelkanalbehandlungen steigt, ist bekannt und klinisch wie histologisch belegt (KETTERL 13, WALTER und KÖVÁGÓ 30, KESZTHELYI 12).

III. METHODEN UND MATERIAL

A. Methoden

1. Das Röntgen-Meßverfahren

Zur Anfertigung der intraoralen Röntgen-Meßaufnahmen wird nach der herkömmlichen Art in den Wurzelkanal ein Skalainstrument bis zur "Sicherheitstiefe" (KRÖNCKE 16, vgl. Tab. 3, Seite 4), oder bis zur Durchschnittslänge des Zahnes (GROSSMAN 8, vgl. Tab. 1, Seite 2), oder bis zum Erreichen eines fühlbaren Widerstandes o d e r bis zu der Tiefe, bei der vom Patienten Schmerzen angegeben werden, eingeführt und die Eindringtiefe notiert. Drei mögliche Positionen des Wurzelkanalinstrumentes können röntgenologisch differenziert werden:

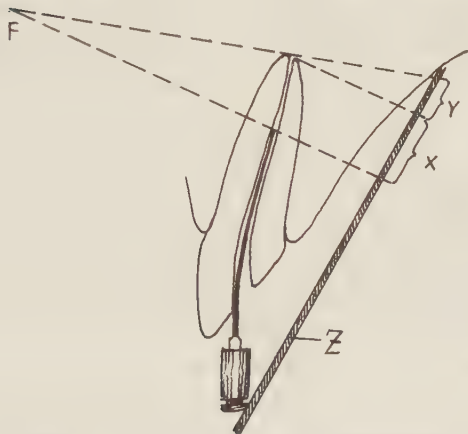
- a) das Instrument erreicht die Wurzelspitze nicht, oder
- b) es ist über den Apex hinaus vorgedrungen, oder
- c) es reicht genau bis zur Wurzelspitze.

Während letztgenannte Position den Idealfall hinsichtlich ihres Informationswertes für die Zahnlängenermittlung darstellt, kommt es bei den beiden anderen Positionen des Instrumentes sehr häufig zu projektionsbedingt fehlerhaften Messungen. Da gerade bei der "Halbwinkeltechnik" (nach CIESZYNSKI, zitiert von HIELSCHER 10) als der in der Praxis hauptsächlich angewandten Art der Projektion eine unterschiedliche Darstellung an sich gleichlanger Zahnabschnitte festzustellen ist (siehe Abb. 1, 2 und 3, Seite 9 und 10), darf die Röntgen-Meßaufnahme nur sehr zurückhaltend ausgewertet werden. Vor allem stellen sich die palatinalen, parallel zum Zahnfilm geneigten Wurzeln der oberen Seitenzähne auf dem Röntgenbild gegenüber den bukkalen verlängert dar, wenn die Tubusspitze bei der Aufnahme zu steil von oben nach unten zeigte (siehe Abb. 3, S. 10).

Ferner sei auf die Schwierigkeiten bei der Differenzierung zweier im Strah-

lengang hintereinander liegender Wurzeln hingewiesen, wie dies bei oberen ersten Prämolaren und bei den mesialen Kanälen der unteren Molaren meist der Fall ist, da ja das Röntgenbild nur ein zweidimensionales Summationsbild aller im Strahlengang hintereinanderliegender Objekte ist.

Abbildung 1



$\underline{x}$... tatsächliche Strecke
Instrumentenspitze -
Apex (bzw. Foramen)

$\underline{x + y}$... die projekti-
bedingt um die Streck-
ke $\underline{y}$ vergrößerte rönt-
genologische Darstel-
lung der Distanz In-
strumentenspitze -
Apex

F ... Fokus

Z ... Zahnfilm

Abbildung 2

Fokus, Zahn und Instru-
ment wie bei Abb. 1, das
Durchbiegen des Zahnfil-
mes potenziert jedoch den
Projektionsfehler. Die
Strecke $\underline{y}$ (bzw. $\underline{x + y}$)
ist hierbei noch größer als
in Abb. 1.

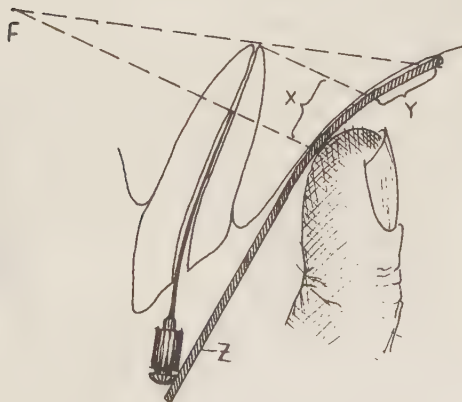
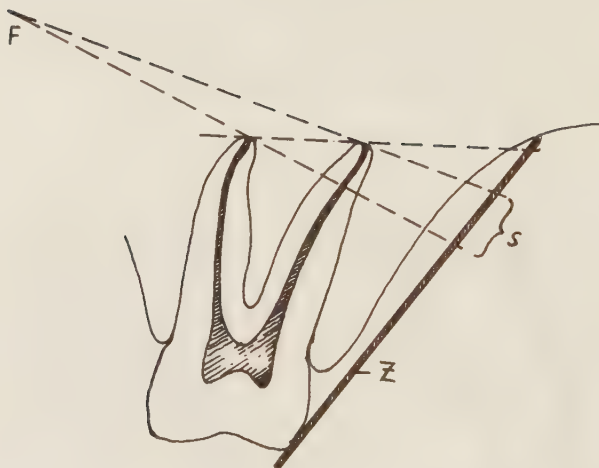


Abbildung 3

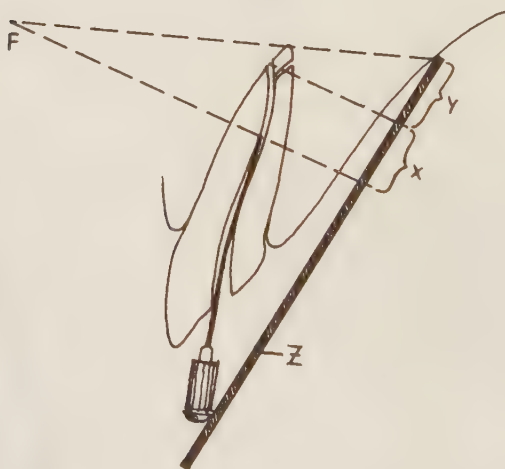


Obwohl bukkale und palatinale Wurzel nahezu gleich lang sind, erscheint die palatinale bei dieser Position des Fokus um die Strecke $\underline{s}$ länger als die bukkale.

Abbildung 4

Haupt- und Seitenkanal enden seitlich vor dem Apex. Die sich daraus ergebenden Projektionsfehler lassen sich an Hand der Strahlen nachweisen:

- x ... tatsächliche Strecke Instrumentenspitze - Foramen
- x + y ... röntgenologisch sich darstellende Distanz Instrumentenspitze - Apex



Einen weiteren Unsicherheitsfaktor bei der Festlegung der endodontalen Arbeitslänge, der auch durch die Röntgenaufnahme nicht ausgeschlossen werden kann, stellt die von Fall zu Fall variierende Lage des Austrittspunktes des Hauptwurzelkanals dar, wie das in Abb. 4 schematisch dargestellt wird ^{x)}. Man wird bei Zähnen, deren Kanal vor dem Apex seitlich endet, dann Gefahr laufen, bis zu der röntgenologisch ermittelten Gesamtlänge des Zahnes aufzubereiten und dadurch das apikale Parodontium unnötig zu verletzen.

Stellt man an Hand der Meßaufnahme fest, daß die Spitze des eingelegten Wurzelkanalinstrumentes mehr als 3 mm vom röntgenologisch sichtbaren Apex entfernt ist, so ist aufgrund der unsicheren Darstellung der radikulären Längenverhältnisse die Wiederholung der Aufnahme bei apexnäherer Lage des Instrumentes angezeigt, bei einem Abstand von mehr als 5 mm vom Apex sogar unerläßlich. Nur so ist nämlich eine annähernd zuverlässige Bestimmung der Zahnlänge unter Ignorierung der projektionsbedingten Verzerrung überhaupt möglich. Um aber selbst bei einer wissenschaftlichen Untersuchung auf dem Boden praxisbezogener Realitäten zu bleiben, muß gesagt werden, daß ein derartiger Aufwand für den praktisch tätigen Zahnarzt zu groß ist (Zeit- und Kostenfaktor, Verhältnismäßigkeit der Mittel, Strahlenbelastung).

Es muß also nach einer Möglichkeit gesucht werden, bereits mit der ersten röntgenologischen Messung eine präzise Aussage über die Länge eines Zahnes bzw. Kanales machen zu können. Dazu bietet sich die elektrische Methode nach SUNADA (28) an, die im folgenden beschrieben und auf ihre Indikation, wie auch auf ihre Vor- und Nachteile hin untersucht werden soll.

x) vgl. W. MEYER 21 .

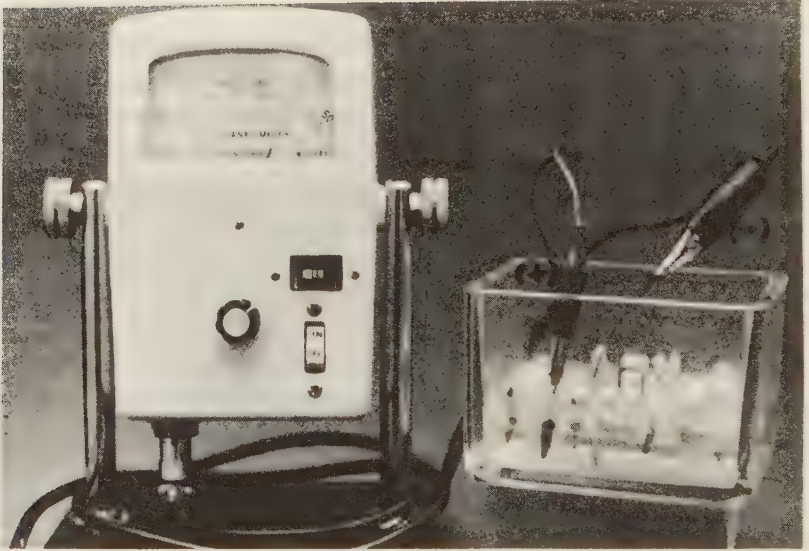
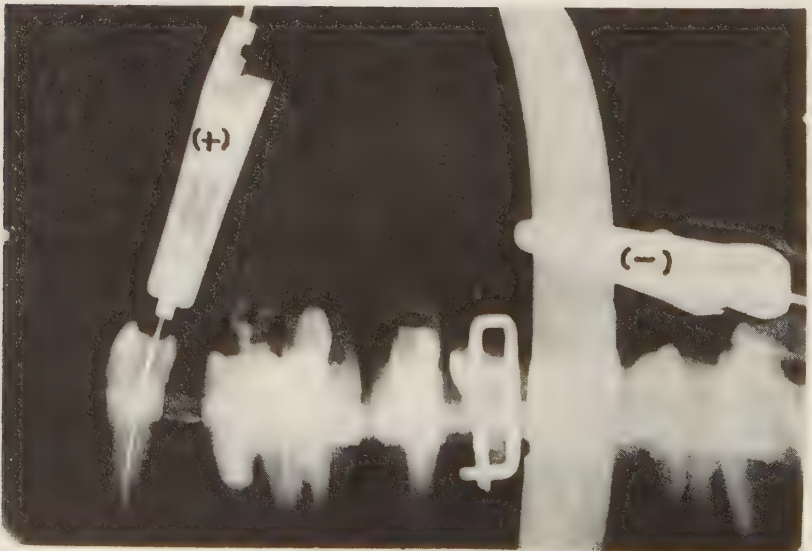


Abb. 5 (oben)

Abb. 6 (unten)



2. Elektrische Messung der Wurzelkanallänge (nach SUNADA 28)

Für die elektrischen Messungen stand uns ein Strommeßgerät ("ROOT CANAL METER") der Fa. Onuki Dental Co., Ltd., Sanei Communication Manufacture Co., Ltd., Japan, zur Verfügung (siehe Abb. 5, Seite 12). Es handelt sich hierbei um ein Mikro-Amperemeter mit einer Skala von 0 - 50 μ A. Sein Eigenwiderstand ist variierbar und kann durch einen Drehregler eingestellt werden. Dieser befindet sich an der Vorderseite des Gerätes links vom Batteriespannungsanzeiger und vom Ein-Aus-Schalter. An der Unterseite des Apparates tritt ein Kabelpaar aus, an dessen Ende eine rot gekennzeichnete "Krokodilklemme" - Anode - und eine schwarze - Kathode - als Elektroden befestigt sind. Als Gleichstromquelle dienen zwei 1,5 Volt - Trockenbatterien. Schaltet man das Gerät ein und schließt die beiden Elektroden kurz, so fließt ein Strom von konstanter Größe, der einen Zeigerausschlag verursacht und auf der Skala als Wert in Mikroampere abgelesen werden kann.

Da nun im Körpergewebe Salze verschiedenster Art, aber in annähernd konstanten Verhältnissen und Konzentrationen gelöst (dissoziiert) sind, stellt dieses einen Elektrolyten und somit elektrischen Leiter zweiter Klasse dar. Es ist deshalb ein Stromdurchfluß in Form einer Ionenleitung möglich, wenn auch der Elektrolyt diesem einen höheren Widerstand entgegensetzt als die leitenden Metalle (Leiter erster Klasse), in denen eine Elektronenleitung erfolgt (WESTPHAL 32).

Man kann empirisch feststellen, daß auch zwischen Wurzelkanal und Mundschleimhaut - wie z.B. bei der Jonophorese (vgl. SUZUKI, zitiert von SUNADA 28, und WANNENMACHER 31) - ein meßbarer Stromfluß möglich ist.

Nach SUNADA (28) soll der elektrische Widerstand zwischen der Spitze eines genau bis zum Foramen apicale vorgeschobenen Kerr-Räumers und der Mundschleimhaut stets nahezu gleich groß sein, ungeachtet des Alters

des Patienten, der Form der Zähne, des Durchmessers und des Inhalts der Wurzelkanäle. Ob dies ohne Einschränkung zutrifft, soll durch diese Untersuchungen unter anderem überprüft werden.

Es liegt jedoch von vornherein die Vermutung nahe, daß auch die Stromleitung im Wurzelkanal als einem mit Elektrolyten (Blut, Gewebe, Pus, Medikamente, Chemikalien, Speichel etc.) gefüllten, rohrförmigen elektrischen Leiter allgemeinen Gesetzen der Elektrizitätslehre unterliegt:

- a) Der elektrische Widerstand eines Leiters ist indirekt proportional seiner Dicke. Das bedeutet, daß bei entsprechend weiten Kanälen der Widerstand geringer und somit die durchfließende Strommenge größer sein muß.
- b) Die elektrische Leitfähigkeit wird bei Elektrolyten im wesentlichen bestimmt vom Dissoziationsgrad der Lösung. Dies läßt den Schluß zu, daß ein stark dissoziierter Kanalinhalt (z. B. bei Anwesenheit von Natrium-Hypochlorit als Desinfektionsmittel) den Strom wesentlich besser leiten wird als ein nahezu undissoziierter.

B. Materialien und Versuche

1. Vorversuche mit Drähten verschiedener Stärke ($\varnothing$ 0,1 - 1,2 mm)

Zur Messung der durchfließenden Strommenge in Abhängigkeit von der Größe der Kontaktfläche eines metallischen Leiters mit einem Elektrolyten (hier 0,9 %ige, physiologische Kochsalzlösung) wurde Remanit-Draht (Fa. Dentaureum, Pforzheim) vom Durchmesser 0,1 mm, 0,15 mm, 0,2 mm, 0,3 mm bis 1,0 mm und 1,2 mm verwendet. Diese zwölf verschiedenen Drähte und ein 1 cm breiter Messingblechstreifen waren in eine 19 mm starke, rechteckige Kunststoffplatte eingelassen. Die Platte wurde auf ein

mit physiologischer Kochsalzlösung vollständig gefülltes Glasgefäß gelegt, so daß ihre Unterseite gleichmäßig von der Lösung benetzt wurde. Das Messinglech ragte dabei etwa 5 mm tief in die Lösung, während die Eintauchtiefe der Drähte variiert wurde (+ 6 mm, + 3 mm, + 1 mm und 0 bis + 0,5 mm). Nach Kurzschluß der beiden Elektroden des Amperemeters wurde dessen Eigenwiderstand mittels des Drehreglers so eingestellt, daß auf der Skala der Wert 46 μ A angezeigt wurde. Bei den Messungen wurde die Kathode an das Messinglech, die Anode der Reihe nach an die oberhalb der Platte herausragenden Drahtenden angeschlossen (Protokoll 1).

2. Vorversuche mit "Kanälen" unterschiedlicher Weite ($\varnothing$ 0,1 - 1,2 mm)

Aus der oben beschriebenen Kunststoffplatte wurden sämtliche Drähte herausgezogen, wodurch zwölf "Kanäle" von 0,1 bis 1,2 mm Durchmesser entstanden. Das Amperemeter wurde wieder auf eine Skalaanzeige von 46 μ A bei direktem Kontakt der beiden Elektroden eingestellt und die Kathode an das in die Kochsalzlösung ragende Messinglech angeschlossen. Die Anode wurde an einen Kerr-Räumer Größe 1 geklemmt und dieser in die "Kanäle" eingeführt, bis er + 1 mm, 0 bis + 0,5 mm und - 1 mm vom "Foramen" an der Unterseite der Platte entfernt war. (Die Kanäle mit dem Durchmesser von 0,1 und 0,15 mm erwiesen sich für den Kerr-Räumer als zu eng). Gemessen wurde die jeweils durchfließende Strommenge (in μ A) und die Position des Räumers bei einer Skalaanzeige von 40 μ A (Protokoll 2).

3. Vorversuche mit flüssigen und pastösen Substanzen

Bei diesen Versuchen wurden 26 flüssige und pastöse, in der zahnärztlichen Praxis verwendete Substanzen auf ihre elektrische Leitfähigkeit und ihren pH-Wert hin getestet. Dabei kam es weniger auf genaue Einzelwerte als auf

das Herausfinden von Substanzen an, die den Strom sehr gut, gut und schlecht bzw. nicht leiten (drei Gruppen, siehe Protokoll 3). Zu diesem Zweck wurden die zu prüfenden Substanzen in Dappengläser gefüllt, beide Elektroden des Mikroamperemeters an je einen Kerr-Räumer Größe 1 geklemmt und diese im Abstand von etwa 1 Zentimeter zueinander mindestens 10 mm tief in das Glas getaucht. Der Kurzschlußwert des Amperemeters betrug wie-der 46 μ A. Um etwaige Zusammenhänge zwischen pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit aufzudecken, wurden die Substanzen auch mit Universal - Indi-katorpapier (Fa. E. Merck, Darmstadt) überprüft.

4. Vorversuche an extrahierten Zähnen

a) Objektive Prüfung der Genauigkeit der elektrischen Zahnlangenbestimmung

Es wurden 17 extrahierte, bis zur Pulpakammer trepanierte Zähne mit der Schublehre vom Apex bis zur obersten Kronenkante auf den halben Millime-ter genau gemessen. Dann wurden die Zähne zusammen mit einem 1 cm breiten und 10 cm langen Streifen aus Messingblech senkrecht bis zur hal-ben Wurzellänge in eine Plastillinschicht gesteckt, die auf dem Boden eines Glasgefäßes ausgebreitet war. Nun wurde bis zu einer Stärke von etwa 5 mm Autopolymerisat in das Gefäß gegossen. Dadurch waren nach dem Erhärten des Kunststoffes die Zähne und der Blechstreifen fixiert, und es konnte das Plastillin von den Wurzeln entfernt werden. Das Gefäß wurde bis in Höhe der Kunststoffplatte mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt, wodurch sämt-liche Zahnwurzeln und das Blech von einer Lösung umspült wurden, die dem Blut und den Gewebszellen isotonisch ist (SCHNEIDER 26). Die Kronen und der größere Abschnitt des Bleches ragten oben aus der Platte heraus (siehe Abb. 6, Seite 12). Die insgesamt 25 Kanäle der Zähne wurden mit einem Kerr-Räumer Größe 1 bis zum Apex unter Sichtkontrolle sondiert. Für die elektrische Längenbestimmung wurde die Kathode des Mikroampere-

meters an das Messingblech geklemmt und die Anode an einen Räumrer der Größe 1, der seinerseits in den jeweils zu messenden Kanal geschoben wurde (Abb. 5 u. 6). Erreichte der Räumrer den Apex, was von außen durch das Glas hindurch kontrolliert werden konnte, wurde bei dieser Position das Mikroamperemeter angeschlossen und auf eine Skalaanzeige von $40 \mu\text{A}$ eingestellt (vgl. SUNADA 28). Dies ergab bei direktem Kontakt der beiden Elektroden eine Skalaanzeige von $46 \mu\text{A}$ ("Kurzschlußwert"). Im weiteren Verlauf des Versuches wurde der Kerr-Räumrer in Verbindung mit der Anode in die restlichen 24 Kanäle eingeführt, bis vom "Wurzelkanalmesser" ein Wert von $40 \mu\text{A}$ angezeigt wurde. Die Eindringtiefe wurde an Hand der Skala des Wurzelkanalinstrumentes ^{x)} ermittelt und mit der zu Anfang gemessenen Zahnlänge verglichen, wobei auch Abweichungen bis $\pm 0,5 \text{ mm}$ toleriert und als positives Ergebnis gewertet wurden. Weiterhin wurde die Skalaanzeige notiert bei einer Position der Instrumentenspitze 2 mm vor dem Apex bzw. Foramen apicale, was bei Durchführung einer Vitalexstirpation nach der Stufen-Meßtechnik nach A. MAYER (20) von Bedeutung ist (Protokoll 4 a).

b) Messungen der elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der
Weite eines mit Kerr-Räumrern aufbereiteten Wurzelkanals:

Da die Zahnlänge stets vor dem eigentlichen Aufbereiten eines Wurzelkanals bestimmt wird, sollte mir experimentellen Messungen an einem extrahierten oberen Eckzahn von 22 mm Länge, der zu der oben unter 4 a beschriebenen Versuchsanordnung gehörte (siehe Abb. 6, Seite 12), lediglich die Abhängigkeit der Skalaanzeige von der Räumrergröße bzw. von der Weite des

x) Werden Räumrer verwendet, die keine Skala aufweisen, so müssen sogenannte "Gummistopper" in Höhe der Zahnoberkante die Eindringtiefe des Instrumentes markieren. An einer Meßbank mit Millimeteinteilung wird die Distanz Instrumentenspitze - Gummistopp und somit die Kanallänge abgelesen.

Wurzelkanals untersucht werden (Protokoll 4 b).

Der Kanal wurde mit der Räumergroße 1 bis zum Foramen apicale son-
diert und elektrisch gemessen (Kurzschlußwert des Amperemeters wie-
der 46 μ A):

1. wurde bis Kerr - Größe 15 aufbereitet und bei jeder Größe die Skala-
anzeige in μ A bei apikaler Position des Räumers ermittelt;
2. wurde die Eindringtiefe notiert, bei welcher der gerade verwendete
Räumer eine Skalaanzeige von 40 μ A verursachte;
3. wurde in den bis zu der jeweiligen Größe (Kerr 2 bis 15) aufberei-
teten Kanal ein Räumer der Größe 1 eingeführt und seine Eindringtiefe
bei einer Skalaanzeige von 40 μ A notiert;
4. wurde die Strommenge gemessen bei gleichbleibend 22 mm Eindring-
tiefe eines Räumers der Größe 1 im verschieden weit aufbereiteten
Kanal (Weite 2 bis 15).

5. Klinische Versuche: endodontale Längenbestimmung bei 250

Wurzelkanälen während der Behandlung

Nach Trepanation eines Zahnes, der für eine Wurzelkanalbehandlung vorge-
sehen war, wurde ein Kerr - Räumer, meist Größe 1, in den Kanal bis zur
Sicherheitstiefe (Tab. 3, Seite 4) eingeführt. Bei Kurzschluß der beiden
Elektroden des Amperemeters wurde mit dem Drehregler eine Skalaanzeige
von 46 μ A eingestellt. Dies entsprach einer Anzeige von 40 μ A, sobald
ein Kerr - Räumer das Foramen apicale eines Zahnes erreicht hatte, der in
die unter III. B. 4a beschriebene Versuchsanordnung eingegliedert war.
Die Kathode des "Wurzelkanalmessers" wurde an den im Mund des Patien-
ten hängenden metallischen Speichelsauger bzw. am Griff eines in den Zun-
gengrund oder an die Wangenschleimhaut gedrückten Mundspiegels ange-
schlossen. Die Anode wurde nach Einschalten des Gerätes an den im Wurzel-

kanal steckenden Räumer geklemmt und dieser so weit in den Kanal hineingeschoben, bis auf der Skala der Wert $40 \mu\text{A}$ angezeigt wurde. Bei dieser Position des Instrumentes wurde eine Röntgenaufnahme angefertigt und die Länge des Zahnes ermittelt. In verschiedenen Fällen wurde die elektrische Zahnlangenbestimmung erst an Hand einer Röntgen-Meßaufnahme vorgenommen. Untersucht werden sollte, unter welchen Voraussetzungen bei einer experimentell festgelegten Skalaanzeige von $40 \mu\text{A}$ eine apikale Position der Räumerspitze röntgenologisch festgestellt werden konnte, um die Grenzen einer ausschließlich nach der elektrischen Methode vorgenommenen Kanallängenmessung sowie deren Vorteile aufzuzeigen (Protokoll 5).

IV. ERGEBNISSE

1. Die elektrischen Messungen an Drähten verschiedener Stärke sollten die Abhängigkeit der durchfließenden Strommenge von der Größe der Kontaktfläche bzw. der Eintauchtiefe eines metallischen Leiters (= Elektronenleiters) in einen Elektrolyten (= Ionenleiter) zeigen. Dadurch sollte die elektrische Zahnlangenbestimmung nach SUNADA (28) beeinflussender Faktor experimentell nachgewiesen werden.

Die durchfließende Strommenge (= Skalaanzeige in μA) war bei den durchgeführten Messungen mit dem Mikroamperemeter umso größer, je dicker der Draht und je größer die Eintauchtiefe in einen Elektrolyten (hier physiologische Kochsalzlösung) war (siehe Protokoll 1). Dies bedeutet für die elektrische Zahnlangenbestimmung, daß für jede Kerr - Räumergroße eine spezifische Eichung des Amperemeters vorgenommen werden müßte, es sei denn, man verwendet ausschließlich einen bestimmten Räumers, mit dem auch die Eichung des Meßgerätes auf eine Skalaanzeige von $40 \mu\text{A}$ bei apikaler Position der Instrumentenspitze erfolgte (z. B. nach der Versuchsanordnung III. B. 4 a). Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß dennoch die Meßergebnisse nicht linear, d. h. proportional dem Leiterquerschnitt bzw. der Eintauchtiefe ausfallen (vgl. Protokolle 1, 2 und 4).

2. Elektrische Messungen wurden vorgenommen an Kanälen definierter Weite (0,2 bis 1,2 mm) unter Verwendung einer konstanten Räumergroße (Kerr 1). Dabei war nur in einem begrenzten Bereich von 0,2 bis 0,4 mm Kanaldurchmesser bei einer Eintauchtiefe von 0 bis + 0,5 mm vom Kanalende entfernt eine konstante Skalaanzeige von $40 \mu\text{A}$ zu erhalten (siehe Protokoll 2).

3. Messungen der Stromleitfähigkeit bestimmter flüssiger und pastöser Substanzen sollten Hinweise liefern auf zahnärztliche

Stoffe, die eine Änderung der elektrischen Leitfähigkeit des Systems Metall (= Wurzelkanalinstrument) - Elektrolyt (= Blut, Körpergewebe, Speichel) verursachen können. Die Präparate der ersten Gruppe mit Kalzium-Hydroxid (pH-Wert über 12), Natrium-Hypochlorit (pH-Wert über 10) und Epi-neph rin (pH-Wert 3) erwiesen sich als ebensogut leitend wie Leiter erster Klasse. Es ist deshalb zu berücksichtigen, daß bei Anwesenheit dieser Präparate im Wurzelkanal die Skalaanzeige bei der elektrischen Zahn-längenbestimmung verfälscht, d.h. überhöht ist.

Die Substanzen der zweiten Gruppe (physiologische Kochsalzlösung bis Wasserstoff-Peroxid, pH-Werte zwischen 4,5 und 7,3 - Protokoll 3) leiteten den elektrischen Strom gut bis zufriedenstellend (Skalaanzeigen zwischen 45,5 und 17 μ A bei einem Kurzschlußwert von 46 μ A). Dabei erfolgt gerade in vitalen, mit Bindegewebe, Gewebsflüssigkeit und Blut gefüllten Wurzelkanälen eine Stromleitung unter gleichartiger Bedingung, wie unter den bei III. B. 2 und 4 geschilderten Versuchsbedingungen mit physiologischer Kochsalzlösung.

Die Substanzen der letzten Gruppe (Trio^R bis N 2 Medical^R, pH-Werte zwischen 5 und 6 - siehe Protokoll 3) leiteten den Strom nicht oder nur sehr schlecht. Es muß deshalb darauf Rücksicht genommen werden, daß sie bei Vorhandensein im Wurzelkanal die Skalaanzeige des Amperemeters im negativen Sinne beeinflussen ^{x)}, d.h., die Anzeige in μ A wird auch bei apexnaher Position des Instrumentes geringer sein, als wenn der Kanal ausschließlich mit Blut gefüllt wäre.

4 a. Da für die Messungen an 25 Wurzelkanälen bis auf eine Ausnahme (Nr. 14, Protokoll 4a) nur Zähne mit engen Kanälen verwendet wurden, fielen die Meßergebnisse entsprechend positiv aus. Bei einem Kurzschlußwert von 46 μ A zeigte das Amperemeter stets dann einen Wert von 40 μ A an, wenn sich die Spitze des Kerr-Räumers Nr. 1 annähernd

x) ähnlich wie bei trockenen Kanälen.

0 bis $\pm 0,5$ mm vom Foramen apicale entfernt befand. Dabei wurde in zwei Fällen (Nr. 2 und 24, Protokoll 4a) nebenbei festgestellt, daß Apex und Austrittspunkt des Hauptwurzelkanals nicht in jedem Fall identisch sein müssen (vgl. W. MEYER 22), eine Besonderheit, die bei der klinischen Röntgen-Meßaufnahme am Patienten nicht erfaßt werden kann (vgl. A. MAYER 18).

Messungen bei einer Position des Räumers 2 mm vor dem Foramen apicale (nicht Apex) an den extrahierten Zähnen haben ergeben, daß auf Grund der großen Streubreite der Skalaanzeigen (34 bis 41 μA , siehe Protokoll 4a / Spalte 5) bei dieser vor allem für die "Querschnitt-Meßtechnik" nach A. MAYER (19 und 20) indizierten Aufbereitungstiefe keine konstante Skalaanzeige bei der elektrischen Zahnlangenbestimmung zu erwarten ist. Offensichtlich haben dabei im Gegensatz zu den Versuchsbedingungen unter III. B. 2 (genormte Kanäle) die Vielfalt der Kanalformen (BÜHLEN 3) und die Ramifikationen (W. MEYER 22) als Imponderabilien einen entscheidenden Einfluß auf das Ergebnis der elektrischen Messung.

4b. Bei den elektrischen Messungen an einem 22 mm langen Wurzelkanal während des Aufbereitens stellte sich heraus, daß nur etwa bis Kerr-Größe 6 konstante Werte von 40 μA bei apikaler Position des Räumers angezeigt wurden (Protokoll 4b / Spalte 1). Die Messungen wurden auch mit Kerr 1 bei unterschiedlich weiter Aufbereitung (Kanalweite 1 - 15) ausgeführt: bei Kanalweite 5 bewirkte ein Räumers der Größe 1 bereits 0,5 mm vor dem Apex, bei Kanalweite 15 sogar schon 5,5 mm vor dem Apex eine Skalaanzeige von 40 μA (Spalte 4). Schob man bei Kanalweite 5 den Räumers Größe 1 bis zum Apex, so ergab das eine Skalaanzeige von 40,5 μA , bei Kanalweite 15 gar eine Anzeige von 43 μA (Spalte 5).

Diese Versuche zeigen wiederum die Abhängigkeit der Skalaanzeige von der Weite des Kanals, was bei der elektrischen Längenmessung an Zähnen Jugendlicher berücksichtigt werden muß, da unvollendetes Wurzelwachstum

mit weitem Foramen apicale das wichtigste Merkmal des jugendlichen permanenten Zahnes ist (FESSELER 4).

5. Die Messungen an 250 Wurzelkanälen in vivo nach der elektrischen Methode (SUNADA 28) lieferten in Kombination mit der herkömmlichen Röntgen-Meßaufnahme folgende Ergebnisse (Protokoll 5):

a) Absolut brauchbar waren 203 Meßergebnisse (= 81,2 %).

Bei einer Skalaanzeige von 40 μ A war die Räumerspitze 0 bis $\pm$ 0,5 mm vom röntgenologisch ermittelten Apex entfernt. Es war dadurch möglich, die Zahn(!)länge exakt auf den halben Millimeter genau zu ermitteln. Es muß jedoch einschränkend betont werden, daß damit nicht auch eine eindeutige Aussage über den Sitz des Foramen apicale gemacht werden konnte (vgl. auch A. MAYER 18, und W. MEYER 21 und 22).

b) Bedingt brauchbar waren 29 Meßergebnisse (= 11,6 %).

Bei diesen Messungen war der Kanal nicht bis zum Apex sondierbar, weshalb das Amperemeter auch nur Werte unter 40 μ A anzeigte. Eine Relation zwischen Skalaanzeige und Eindringtiefe konnte ebensowenig festgestellt werden wie bei den Versuchen an extrahierten Zähnen (vgl. Protokoll 4 a). Die Skalaanzeigen schwankten zwischen 24 und 39 μ A bei Entfernungen der Räumerspitze zwischen - 5 mm und - 1 mm vom Apex (vgl. Protokoll 5, Messungen Nr. 18, 35, 64, 69, 72, 73, 74, 88, 94, 95, 96, 100, 104, 115, 116, 119, 120, 167, 173, 189, 198, 202, 203, 210, 211, 223, 232, 237, 245). Man konnte jedoch an Hand der Anzeigen unter 40 μ A bereits vor der röntgenologischen Kontrolle erkennen, daß der Kerr-Räumer noch nicht bis zum Apex vorgedrungen war, weil der Kanal stark gekrümmt oder obliteriert war.

c) 15 Messungen (= 6 %) nach der elektrischen Methode waren bedingt unbrauchbar. Das Instrument war hierbei entweder über den Apex

hinaus vorgeschoben, oder es erreichte den Apex nicht, obwohl in jedem Fall die Skalaanzeige des Meßgerätes die richtige Position des Räumers erwarten ließ. Diese 15 elektrischen Fehlmessungen, die alle eine eruierbare Ursache hatten, sollen hier näher betrachtet werden (siehe auch Protokoll 5):

Fall 3 (siehe Abb. 7):

männlicher Patient, 42 Jahre, radikuläre Zyste bei 12, die Röntgen-Meßaufnahme wurde nach gründlicher Trocknung des Kanals bei einer Eindringtiefe des Räumers von 24 mm (= + 6 mm über der Sicherheitstiefe!) vorgenommen, da hier das Amperemeter den Wert 40 μ A anzeigte. An Hand des Meßbildes konnte festgestellt werden, daß der Kanal mindestens 3 mm kürzer war als nach der elektrischen Messung zu erwarten gewesen wäre. Kanal und Zystenohlraum waren jedoch trocken, was ein Vordringen des Instrumentes bis zu dem Punkt bedingte, an dem es Kontakt mit dem Zystenbalg hatte. Erst dann war dieselbe Bedingung für die elektrische Stromleitung vorhanden wie bei normalen peripikalen Verhältnissen.

Fall 5 (siehe Abb. 8):

m, 15 J., Parodontitis apicalis bei 11, Meßbild bei 25 mm entsprechend einer Skalaanzeige von 40 μ A. Tatsächliche Zahnlänge mindestens 26 mm ($\approx$ +1 mm). Als Ursache der elektrischen Fehlmessung kommt der weite (Kerr-Größe 10!) Wurzelkanal in Betracht.

Fall 29: m, 26 J., Gangrän an 15,

Meßbild bei einer Eindringtiefe des Räumers von 21,5 mm entsprechend einer Skalaanzeige von 40 μ A. Nach der Röntgenaufnahme zeigte sich, daß der Zahn 2,5 mm länger war. Die elektrische Messung wurde vorgenommen, nachdem der Kanal bereits mit Natrium-Hypochlorit gespült worden war.

Fall 41 und 42 (siehe Abb. 10):

m, 8 (!) J., Nekrose nach Trauma an 11 und 21, beide Zähne waren 4 mm länger als nach der elektrischen Messung bei einer Skalaanzeige von 40 μ A zu erwarten gewesen wäre. Ursache der Fehlmessung: noch nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum, Kanalweite über Kerr-Größe 15!

Fall 55, 56 und 57:

m, 25 J., Gangrän an 36, alle drei Wurzeln waren 4 bis 5 mm länger als die Skalaanzeige von 40 μ A

vermuten ließ. Die Kanäle waren jedoch vor der Messung mit Natrium-Hypochlorit gespült worden.

Fall 61 (siehe Abb. 11) :

w, 34 J., Gangrän an 45,

Skalaanzeige von 40 μ A bei einer Position des Räumers 2,5 mm vor dem Apex. Der Kanal war vor der Messung mit Hypochlorit gespült worden.

Fall 77 :

m, 14 J., Parodontitis apicalis bei 31,

bereits bei 6 mm Eindringtiefe des Räumers Skalaanzeige von 40 μ A, obwohl der (bereits mit Hypochlorit behandelte) Kanal 20 mm lang war.

Fall 110 :

m, 29 J., Gangrän an 35,

der Zahn war 3 mm länger als die elektrische Messung vermuten ließ.

Ursache der Fehlmessung war wiederum die Anwesenheit von Hypochlorit im Kanal.

Fall 121 :

w, 56 J., Pulpitis totalis an 23,

Skalaanzeige von 43 μ A bereits bei einer Eindringtiefe von 12 mm, da der Räumerkontakt mit der Metallkrone hatte, Zahnlänge = 24 mm.

Fall 144 (siehe Abb. 14) :

w, 31 J., Zyste bei 12,

Meßbild bei 24 mm entsprechend einer Skalaanzeige von 40 μ A, tatsächliche Zahnlänge 21,5 mm. Ursache wie bei Fall 3 !

Fall 229 und 230 (siehe Abb. 23) :

m, 8 (!) J., Kronenfraktur an 11 und 21,

Skalaanzeige von 40 μ A bereits bei 18 mm, tatsächliche Zahnlänge 26 mm.

Bei 15 mm Eindringtiefe Skalaanzeige von 39 μ A.

Ursache der elektrischen Fehlmessung: weite Kanäle, noch nicht abgeschlossenes Wurzelwachstum (Kanal weiter als Kerr-Größe 15 !).

d) Absolut unbrauchbar waren 3 elektrische Messungen (= 1,2 %, Protokoll 5, Nr.7 (Abb. 9), Nr. 102 und 200).

Diese Fehlmessungen hatten jedoch ihre Ursache nicht in der Methode selbst, sondern in einem unbemerkten Absinken der Batterieladung und dem Versäumnis, das Amperemeter vor der Zahnängenmessung mittels des Drehreglers auf einen Kurzschlußwert von 46 μ A einzustellen. Die abgesunkene

Batterieleistung bedingt nämlich automatisch, daß der Räumers über den Apex hinaus vorgeschoben werden muß, um durch besseren Kontakt zwischen Metall und Elektrolyten (Gewebe) und dadurch geringeren Widerstand den Spannungsverlust der Batterien zu kompensieren:

die durchfließende Stromstärke (in μA) = $\frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$ (WESTPHAL 32),

d.h. , sinkt die Batteriespannung um 10 % , so muß sich auch der Widerstand um 10 % verringern, um dieselbe Stromstärke zu erhalten.

Nach dem eben genannten "Ohm'schen Gesetz" lassen sich auch die Fehlmessungen bei weiten Kanälen oder bei Natrium-Hypochlorit im Kanal erklären: beide Faktoren verringern den elektrischen Widerstand, was bei gleichbleibender Spannung eine größere Stromstärke und somit auch größere Skalaanzeige bei apikaler Position eines Kerr-Räumers zur Folge hat (bzw. konstante Skalaanzeige von 40 μA bei weit geringerer Eindringtiefe des Instrumentes).

Kasuistik weiterer bemerkenswerter Meßergebnisse mit Abbildungen:

Fall 7 (siehe Abb. 9) :

w, 51 J., Pulpitis totalis an 45,
Skalaanzeige von nur 37 μA , obwohl das Instrument bereits 1,5 mm über den Apex hinaus vorgedrungen war. Ursache der Fehlmessung war eine falsche Einstellung des Amperemeters (wie bei den Fällen Nr. 102 und 200).

Fall 111 (Abb. 12) :

m, 68 J., Parodontitis apicalis bei 33,
Skalaanzeige von 40 μA bei apikaler Position des Räumers. Bei derselben Position des Instrumentes, aber Kontakt mit der Metallkrone, Skalaanzeige 43 μA .

Fall 117 (Abb. 13) :

w, 37 J., Pulpitis ulcerosa und Granuloma interna an 44,
Skalaanzeige 40 μA bei 19 mm; Zahn(!)länge nach Exaktion gemessen 19,5 mm. Trotz Vergrößerung des Kanallumens im mittleren Drittel der Wurzel trat keine Verfälschung des elektrischen Meßergebnisses auf, da der Kanal nicht durchgehend bis zum Foramen apicale erweitert war.

Fall 184 (Abb. 15) :

m, 27 J., Zyste bei 22,
bei unverletztem Zystenbalg erhielt man absolut brauchbare Ergebnisse
mit der elektrischen Meßmethode, d.h., Skalaanzeige 40 μ A bei apika-
ler Position des Räumers.

Fall 196 (Abb. 16) :

w, 30 J., Pulpitis totalis an 44, WF 1 an 45,
exakt apikale Position des eingelegten Instrumentes bei einer Skalaanzeige
von 40 μ A . Daneben Zahn 45 mit optimaler Wurzelfüllung ($\pm$ 0 mm)
nach vorausgegangener ausschließlich elektrischer Zahnlangenbestimmung.

Fall 197 und 198 (Abb. 17) :

m, 32 J., Zustand 6 Monate nach Unterkieferfraktur bei 33 und 34, an
33 mesial in Höhe der Wurzelmitte fortgeschrittener Resorptionsprozeß
bis in Kanalnähe, an 34 Wurzelfraktur 3,5 mm vor dem Apex.
An 33 mit Kerr 1 bei 27 mm Eindringtiefe Skalaanzeige 40 μ A, hierbei
Instrumentenspitze genau am Apex. Ab Kerr 13 starkes Bluten aus dem
Kanal, nun bereits bei 12 mm Eindringtiefe Skalaanzeige von 40 μ A :
Längsperforation in Höhe des Resorptionsprozesses (vgl. HOEFIG 11).
An 34 setzte im unteren Drittel der Wurzel in Höhe der Wurzelquerfraktur
eine Stufe dem Vordringen des Räumers einen nicht überwindbaren Wider-
stand entgegen, die Skalaanzeige betrug nur 30 μ A bei einer Position der
Räumerspitze 3,5 mm vor dem Apex.

Fall 202, 203 und 204 (Abb. 18) :

m, 26 J., Gangrän an 47, Perforation im mittleren Drittel des Kanals
der mesiolingualen Wurzel ("intraalveoläre Perforation" nach HOEFIG 11).
Röntgenmeßaufnahme bei 18 mm Eindringtiefe des Räumers im mesiolingu.
Kanal und der Skalaanzeige von 42 μ A. Bei 17 mm (Austrittspunkt der
Via falsa) Skalaanzeige 40 μ A. Distaler und mesiobukkaler Kanal waren
nicht bis zum Apex durchgängig.

Fall 212 (Abb. 19) :

w, 19 J., Replantation von 11,
auch bei elektrischer Messung nach Replantation eines in toto herausge-
schlagenen Zahnes erhielt man eine Skalaanzeige von 40 μ A bei apikaler
Position der Räumerspitze.

Fall 216 (Abb. 20) :

m, 36 J., Pulpitis totalis an 22,
Beispiel einer absolut genauen Position der Instrumentenspitze am Apex
bei der Skalaanzeige von 40 μ A. Die Eindringtiefe (= Zahnlänge) betrug
24 mm. Nimmt man für die Röntgenmeßaufnahme eine Sicherheitstiefe von
18 mm an (vgl. Tab. 3, Seite 4), so ergibt sich in diesem Fall eine tat-
sächliche Fehldistanz von 6 mm, die auf der Meßaufnahme projektionsbe-
dingt u.U. stark vergrößert oder verkleinert erscheinen kann.



Abb. 7



Abb. 8



Abb. 9



Abb. 10



Abb. 11



Abb. 12



Abb. 13



Abb. 14



Abb. 15



Abb. 16



Abb. 17

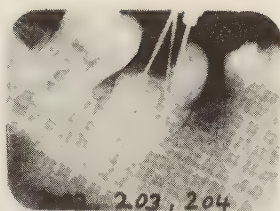


Abb. 18



Abb. 19



Abb. 20



Abb. 21



Abb. 22



Abb. 23



Abb. 24

Fall 217 (Abb. 21) :

w, 37 J., Parodontitis apicalis bei 15, extraalveoläre Perforation (HÖEFIG 11) distal im oberen Drittel des Wurzelkanals. Da die Perforationsstelle wegen des starken horizontalen Knochenabbaus noch oberhalb des Alveolarkammes lag, bestand keine Verbindung zwischen Wurzelkanal und Alveole bzw. Desmodont. Deshalb zeigte das Mikroamperemeter erwartungsgemäß erst dann den Wert von 40 μ A an, als die Instrumentenspitze den Apex erreicht hatte.

Fall 222 (Abb. 22) :

w, 42 J., Zyste bei 12, Skalaanzeige 40 μ A bei apikaler Position des Räumers (= 19 mm), bei einer Eindringtiefe des Instrumentes von 4 mm ab bis 16 mm betrug die Skalaanzeige gleichbleibend 33 μ A, da diese Strecke von einem Silberstift elektrisch "überbrückt" war. Der Stift stammte von einer früheren Wurzelkanalfüllung.

Fall 240, 241 und 242 (Abb. 24) :

m, 22 J., Zyste bei 11, 21, 22, drei weitere Beispiele absolut brauchbarer elektrischer Zahnlangenbestimmung (apikale Position der Räumers bei Skalaanzeige 40 μ A). Der Zystenbalg war noch unversehrt. Die Wurzelspitze von 21 (auf der Abbildung der mittlere Zahn) gab nur einen schwachen Röntgenschaten ab, der in der Reproduktion kaum sichtbar ist.

V. DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND KONSEQUENZEN FÜR DIE WURZELKANALBEHANDLUNG

Es liegt in der Natur der röntgenoptischen Darstellung von Zähnen, daß über die Längen- bzw. Größenverhältnisse nur unter bestimmten, seltenen Umständen exakte Aussagen gemacht werden können (vgl. auch HIELSCHER und MATHIS 10). Von Strahlenrichtung und Projektion abhängig wird das Bild des Zahnes auf dem Röntgenfilm nämlich kleiner oder größer. So teilen wir mit O'MULLANE (24) die Meinung, daß das Ergebnis der röntgenologischen Ermittlung der Zahnlänge nur einen "Schätzwert" darstellen kann. Dieser Schätzwert ist vor allem auch dann ungenau, wenn nach dem Röntgen-Meßverfahren ein Kerr-Räumer bis zu einer definierten Sicherheitstiefe (KRÖNCKE 16) in den Wurzelkanal eingelegt wird. Ist z. B. die Instrumentenspitze 4 mm vom röntgenologisch sichtbaren Apex entfernt, so kann dies entweder den tatsächlichen Längenverhältnissen entsprechen, es kann aber auch der Fall sein, daß (besonders bei durchgebogenem Zahnfilm während der Aufnahme) das Instrument in Wirklichkeit nur 2 bis 3 mm vom Apex entfernt ist (vgl. Abb. 1 und 2, Seite 9). Der projektionsbedingte Fehler wird umso kleiner, je geringer der Abstand der Instrumentenspitze vom Apex ist. Die Verzerrung läßt sich am besten in Prozent ausdrücken: bei 4 mm Distanz bis zum Apex ist u. U. eine Verzerrung von 50 % (= 2 mm) und mehr möglich. Allein bei apikaler Position der Instrumentenspitze und bekannter Eindringtiefe läßt sich die Zahnlänge nach dem Röntgenbild genau bestimmen.

In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb auch die von SUNADA (28) propagierte elektrische Meßmethode an Hand von experimentellen und klinischen Versuchen kritisch überprüft. Dabei bestätigten die Vorversuche vor allem, in welchem Maße die Stromleitung vom Durchmesser eines elektrischen Leiters abhängig ist, und zwar bei Elektronenleitung (Vorversuche mit Drähten verschiedener Stärke) wie auch bei Ionenleitung

(Vorversuche mit "Kanälen" unterschiedlicher Weite). Die Überprüfung der Stromleitfähigkeit von flüssigen oder pastösen Substanzen, die im Wurzelkanal angetroffen werden können, lieferte Hinweise besonders auf extrem gut leitende Substanzen wie Natrium-Hypochlorit, Kalzium-Hydroxid und Epinephrin.

Durch die Vorversuche an extrahierten Zähnen und durch Messungen an 250 Wurzelkanälen in vivo konnte die Anwendbarkeit allgemeiner Gesetze der Elektrizitätslehre sowohl unter experimentellen, als auch unter klinischen Bedingungen nachgewiesen werden. Dabei erwies sich die elektrische Methode zur Zahnlangenbestimmung nach SUNADA (28) als eine mit Einschränkungen durchaus praktikable Alternative zum Röntgen-Meßverfahren.

Die Handhabung der elektrischen Methode ist ausgesprochen einfach und nimmt nur Sekunden in Anspruch. Sie läßt sich deshalb ohne wesentlichen Mehraufwand an Zeit mit der Röntgen-Meßtechnik kombinieren. Man schiebt den Kerr-Räumer soweit im Wurzelkanal vor, bis die Skalaanzeige des Mikroamperemeters eine apikale Position der Instrumentenspitze erwarten läßt (hier: $40 \mu A$). Das war nach unseren Untersuchungen in etwa 80 % der Messungen der Fall, was den Informationswert der Röntgenaufnahme entscheidend erhöht: erst dadurch wurde eine genaue Aussage über die Länge eines Zahnes und somit auch über die "endodontale Arbeitslänge" (VANDE VOORDE 29) bei Behandlung des infizierten Kanals (KRÖNCKE 15) ermöglicht, wobei unkontrollierbare Projektionsfehler die Meßergebnisse nicht beeinflussen konnten.

Verzichtet man ganz auf eine Röntgen-Meßaufnahme und verläßt sich z. B. aus Zeit- oder Kostengründen ausschließlich auf die elektrische Methode, so müssen verschiedene Umstände berücksichtigt werden, die einen Einfluß auf das Meßergebnis haben.

Als Faktoren, welche der elektrischen Bestimmung der Zahnlänge im Weg stehen, kommen nach unserer Erfahrung in Betracht:

1. Kanäle, die nicht bis zum Foramen apicale durchgängig sind,
2. weite Wurzelkanäle bei Zähnen mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum oder bereits über Kerr-Größe 6 erweiterte Kanäle,
3. stark dissoziierte, elektrisch gut leitende oder aber ölige, elektrisch nicht leitende, flüssige oder pastöse Substanzen im Bereich des Wurzelkanals und der Pulpakammer,
4. Absinken der Batteriespannung des Mikroamperemeters und somit des experimentell bestimmten Kurzschlußwertes (hier $46 \mu A$),
5. Ableitung des Stromes durch Kontakt des Rämers mit metallischen Füllungen oder Kronen, aber auch durch Kontakt mit Silberstiften oder Fragmenten von Wurzelkanalinstrumenten im Kanal,
6. radikuläre zystische Hohlräume, die ebenso wie der Wurzelkanal zum Zeitpunkt der elektrischen Messung trocken sind,
7. Ableitung des Stromes auf Grund eines elektrisch leitenden Flüssigkeitsfilmes zwischen Pulpakammer und Gingiva propria, z.B. durch Speichelfilm (besonders beim Arbeiten ohne Cofferdam),
8. Kontakt des "anodischen" Räumergriffes bzw. der Anodenklemme mit der Mundschleimhaut oder Zunge,
9. mangelhafter Kontakt des Speichelsaugers bzw. Mundspiegels (= Kathode) mit der Mundschleimhaut.

Die hier aufgeführten Faktoren rechtfertigen die Empfehlung, zur Kontrolle des elektrischen Meßergebnisses eine Röntgenaufnahme mit eingelegtem Räumer anzufertigen, bis man mit der Methode nach SUNADA (28) vertraut ist. Läßt das Alter des Patienten für den Zahn, der wurzelbehandelt werden soll, auf Grund noch nicht abgeschlossenen Wurzelwachstums einen weiten Kanal erwarten, so ist ebenso wie bei nicht bis zum Apex durchgängigen Kanälen (Skalaanzeige unter $40 \mu A$) von der elektrischen Zahn-längenbestimmung zugunsten der Röntgen-Meßtechnik abzusehen. Außerdem sind die obengenannten (Stör-) Faktoren durch zweckmäßiges Vorgehen auszuschließen.

Kontraindiziert ist die elektrische Meßmethode, wenn (bei nichtinfizierter Pulpa) eine Vitalexstirpation nach der Stufen-Meßtechnik (A. MAYER 20) geplant ist. Die Integrität der periapikalen Region, vor allem aber schon

des apexnahen Wurzelkanaldeltas mit seinen Ramifikationen, ist oberstes Gebot bei der Stufen-Meßtechnik. Ziel ist, "das absichtlich in der Wurzelspitze zurückgelassene Mischgewebe vor jedem vermeidbaren mechanischen, chemischen und bakteriellen Reiz zu schützen" (A. MAYER 20). Um die Forderung nach absoluter Schonung des apikalen, vitalen, noch reaktionsfähigen (KETTERL 14) pulpo-periodontalen Mischgewebes vor jeglicher Reizeinwirkung zu erfüllen (vgl. SCHUG - KÖSTERS, A. MAYER, KETTERL, TISCHLER 27), "endet die Aufbereitung und die Wurzelfüllung bei den Zähnen im Oberkiefer 2 mm und bei den Zähnen im Unterkiefer 1,5 mm vor der Wurzelspitze im Röntgenbild" (A. MAYER 20). KETTERL (14) begründet dieses Vorgehen damit, daß der gesamte apikale Ramifikationskomplex mechanisch niemals erfaßt werden kann und deshalb aus der Behandlung ausgeschaltet und vital erhalten werden sollte. Ein bis zur Wurzelspitze, also bis in den Bereich des nicht zu tangierenden vitalen apikalen Mischgewebes zum Zweck der elektrischen Längenbestimmung eingeführter Kerr-Räumer (Skalaanzeige 40 μ A) würde demnach eine unnötige Verletzung und Reizung, u. U. sogar eine vermeidbare Keimverschleppung zur Folge haben. Andererseits lassen aber Skalaanzeigen unter 40 μ A keine Rückschlüsse auf die jeweilige Entfernung der Räumerspitze vom Apex zu (vgl. Protokoll 4 a, Spalte 5 und Protokoll 5, Nr. 21, 23, 35, 37, 40, 64, 68 u. v. a.). Auch SUNADA (28) kommt bei seinen Messungen mit dem Mikroamperemeter bei einer Skalaanzeige von 37 μ A auf Differenzen in der Entfernung der Räumerspitze vom Apex zwischen - 0,5 und - 4 mm, wobei der Räumer dem Apex bei marktoten Zähnen näher war als in vitalen, konstante Skalaanzeige von 37 μ A vorausgesetzt.

Die Ermittlung der Zahnlänge, besser der endodontalen Arbeitslänge, kann also bei geplanter Stufen-Meßtechnik ausschließlich nach dem Röntgen-Meßverfahren unter Beachtung der Sicherheitstiefen (KRÖNCKE 16) erfolgen. Dasselbe gilt bei Zähnen mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum (weite Kanäle!) und bei nicht bis zum Foramen apicale durch-

gängigen Kanälen.

Dagegen hat die elektrische Meßmethode ihre volle Berechtigung bei der Behandlung des infizierten Wurzelkanals, da hierbei u. a. die vollständige Aufbereitung des Hauptwurzelkanals bis zum Foramen apicale und eine bis dorthin reichende, wandständige und dichte Ausfüllung des Kanals unter Schonung des apikalen Parodontiums vor unnötigen mechanischen Läsionen angestrebt wird (KRÖNCKE 15).

Ein besonderer Vorzug der elektrischen Meßmethode muß hier noch erwähnt werden:

- a) bei einer "Via falsa", bedingt durch Perforation (HOEFIG 11, WANNENMACHER 31, und vorliegende Arbeit, Protokoll 5, Nr. 204),
- b) bei verkürzten Wurzeln pulpavitaler Zähne, bedingt durch ein Trauma vor Abschluß der Wurzelbildung (FISCHER 6), und
- c) bei einer Wurzelverkürzung, bedingt durch chronisch entzündliche Resorptionsprozesse (WANNENMACHER 31),

zeigt das Mikroamperemeter rechtzeitig den Wert von $40 \mu\text{A}$ an, sobald die Räumerspitze das "Kanalende" erreicht hat, wodurch vermieden wird, daß das Desmodont verletzt wird.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein Überblick über die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der "endodontalen Arbeitslänge" (VANDE VOORDE) zu Beginn einer Wurzelkanalbehandlung gegeben. Genauer besprochen wurde die sogenannte "Röntgen-Meßtechnik" mit eingelegtem Wurzelkanalinstrument definierter Länge. Sie wurde mit der von SUNADA erarbeiteten elektrischen Meßmethode kombiniert, um die Vor- und Nachteile beider Methoden herauszufinden. Dabei war vor allem die Methode nach SUNADA Gegenstand eingehender Untersuchungen.

Es wurde festgestellt, daß die der Röntgen-Meßaufnahme anhaftenden projektionsbedingten, fehlerhaften Aussagen über die apikalen Längenverhältnisse desto eher vermieden werden können, je mehr sich die Spitze des eingelegten Instrumentes (bekannter Länge) dem Apex nähert. Mit Hilfe einer der Röntgen-Meßaufnahme vorausgehenden elektrischen Zahnlangenbestimmung war in rund 93 % der von uns untersuchten klinischen Fälle eine zuverlässige Aussage über die Länge eines Zahnes bis zum Apex zu erhalten. Hierbei wurde auf der Skala des Mikroamperemeters stets ein durch Vorversuche festgelegter Wert von $40 \mu A$ ($\pm 0,5$) angezeigt, sobald die Räumerspitze den Apex erreicht hatte, oder aber die Skalaanzeige lag unter dem Wert von $40 \mu A$, wenn sich der Wurzelkanal wegen unüberwindbarer Hindernisse nicht bis zum Foramen apicale sondieren ließ.

In etwa 7 % der Fälle war die elektrische Meßmethode ungenau, doch waren die Fehlerquellen ohne Schwierigkeit eruierbar: a) weite Wurzelkanäle (ab Kerr 6), b) stark dissoziierte Substanzen im Wurzelkanal (Natrium-Hypochlorit, Kalzium-Hydroxid, Epinephrin), c) zystische apikale Hohlräume und Wurzelkanäle, die zum Zeitpunkt der elektrischen Messung trocken waren, d) Absinken der Batteriespannung des Mikroamperemeters.

Die Abhängigkeit der elektrischen Meßmethode von der Weite des Kanals bzw. der Größe des Kerr-Räumers und der Beschaffenheit des Wurzelkanalinhaltes in Bezug auf seine elektrische Leitfähigkeit konnte auch an Hand experimenteller Versuche nachgewiesen werden. Die Fehlerursachen, die bei der elektrischen Zahnlängenmessung auftreten können, lassen sich jedoch - weite Kanäle bei noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum ausgenommen - durch zweckmäßiges Vorgehen ausschalten. Das elektrische Meßverfahren ist demnach genau, einfach und schnell auszuführen und deshalb für die Praxis geeignet. Das gilt jedoch nur für Zähne mit infiziertem Kanal, da diese bis zum Apex aufbereitet und gefüllt werden sollen.

Bei einer Vitalexstirpation nach der Stufen-Meßtechnik ist die Längenbestimmung nach der elektrischen Methode nicht indiziert, da bei der geforderten Aufbereitungstiefe bis etwa 2 mm vor dem Apex die Skalaanzeige auf dem Mikroamperemeter von Fall zu Fall erheblich variieren kann. Andererseits läßt die Forderung nach Schonung des noch vitalen, reaktionsfähigen pulpo-periodontalen Mischgewebes ein Vordringen des Wurzelkanalinstrumentes bis zum Apex nicht zu. Zur Ermittlung der endodontalen Arbeitslänge bei einer geplanten Stufen-Meßtechnik ist demnach die Röntgen-Meßaufnahme unter Beachtung der Sicherheitstiefen indiziert.

VII. SCHRIFTTUM

- 1) BEST, E.J.,
GERVASIO, W.,
SOWLE, J.,
WINTER, S. und
GURNEY, E. A new Method of Tooth Length Determination
for Endodontic Practice.
Dent. Dig. 66, 450 (1960)

- 2) BREGMAN, R.C. A Mathematical Method of Determining the
Length of a Tooth for Root Canal Treatment
and Filling.
J. Canad. dent. Ass. 16, 305 (1950)

- 3) BÜHLEN, W. Untersuchungen über den Querschnitt der
Wurzelkanäle mittlerer und seitlicher oberer
Schneidezähne.
Med. Diss. Tübingen 1964

- 4) FESSELER, A. Probleme der Wurzelbehandlung bei Jugend-
lichen unter Berücksichtigung traumatisch
geschädigter Zähne.
Dtsch. Zahnärztebl. 24, 306 (1970)

- 5) FISCHER, C.-H. Möglichkeiten und Grenzen der Behandlung
des Wurzelkanals bei Pulpanekrose und
Parodontitis apicalis chronica.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 75, 1114 (1965)

- 6) FISCHER, C.-H. Verkürzte Wurzeln bei pulpavitalem Zählen -
eine Folge von Hartsubstanzabbau, verursacht
durch Trauma?
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 586 (1970)

- 7) GREENE, H.G. Endometric Endodontics.
Oral Surg. 18, 667 (1964)

- 8) GROSSMAN, L.I. Endodontic Practice.
6. Aufl., Philadelphia 1965, Lea and
Febiger, (Seite 218)

- 9) HEALY, H. J. Endodontics.
St. Louis 1960, Mosby Company, (S.140)

- 10) HIELSCHER, W. und Röntgenologie, zahnärztliche.
MATHIS, H. In: Handlexikon der zahnärztlichen Praxis,
Bd. III (R - Z),
herausgeg. v. H. HARNISCH, J. GABKA u.
H. BRAUN,
Stuttgart - Wien - Zürich 1967, Medica,
(S. 1415-1488)

- 11) HOEFIG, W. Komplikationen bei der Wurzelkanalbehand-
lung - Die Perforation -.
Dtsch. Zahnärztebl. 21, 232 (1967)

- 12) KESZTHELYI, S. Wichtigkeit der Einmessung der bei der
Wurzelkanalbehandlung verwendeten In-
strumente.
Zahnärztl. Welt 66, 377 (1965)

- 13) KETTERL, W. Histologische Untersuchungen an vitalexstir-
pierten Zähnen.
Stoma (Heidelbg.) 16, 85 (1963)

- 14) KETTERL, W. Kriterien für den Erfolg einer Vitalexstir-
pation.
Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 407 (1965)

- 15) KRÖNCKE, A. Möglichkeiten und Grenzen der Behandlung
des Wurzelkanals bei Pulpanekrose und
Parodontitis apicalis chronica.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 75, 1125
(1965)

- 16) KRÖNCKE, A. Persönliche Mitteilungen.

- 17) LÖRINCZY- Pulpaerkrankungen,
LANDGRAF, E. In: Handlexikon der zahnärztlichen Praxis,
Bd. II (J - Q),
herausgeg. v. H. HARNISCH, J. GABKA u.
H. BRAUN,
Stuttgart - Wien - Zürich 1967, Medica,
(S. 1330-1357)

- 18) MAYER, A. Die Technik der Exstirpation und der Kanalaufbereitung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 1424 (1949)
- 19) MAYER, A. Die zukünftige Entwicklung der Wurzelbehandlung unter Berücksichtigung der Herderkrankung.
Zahnärztl. Mitt. 49, 950 (1959)
- 20) MAYER, A. Vitalexstirpation nach der Stufen-Meßtechnik
Öst. Z. Stomat. 61, 90 (1964)
- 21) MEYER, W. Die Anatomie der Wurzelkanäle.
Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 1239 (1959)
- 22) MEYER, W. Die anatomischen Grundlagen der Wurzelbehandlung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 777 (1960)
- 23) MÜHLEMANN, H. R. Zur statistischen Beurteilung von Wurzelbehandlungserfolgen.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 75, 1135 (1965)
- 24) O'MULLANE, D. M. Methods of Estimating Tooth Length in Root Canal Therapy.
J. Irish dent. Ass. 15, 50 (1969)
- 25) PRITZ, W. Die Problematik der Wurzelbehandlung, dargestellt an einem besonderen Fall.
Öst. Z. Stomat. 61, 102 (1964)
- 26) (REIN, H. und) Einführung in die Physiologie des Menschen.
SCHNEIDER, M. 15. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg
1964, Springer, (S. 18)
- 27) SCHUG-KÖSTERS, M., Die Exstirpation der Pulpa unter Anwendung
MAYER, A., der Querschnitts-Meß-Methode nach MAYER.
KETTERL, W. und Zahnärztl. Rdsch. 67, H. 15 (1958)
TISCHLER, R.

- 28) SUNADA, I. New Method for Measuring the Length of
the Root Canal.
J. dent. Res. 41, 375 (1962)
- 29) VANDE VOORDE, H.E. A Review of Methods of Endodontic Working
Length Determination.
Ill. dent. J. 38, 277 (1969)
- 30) WALTER, J. und Die Meßnadel - ein wertvolles Hilfsmittel
KÖVÁGÓ, A. bei der Wurzelkanalbehandlung.
Zahnärztl. Rdsch. 76, 314 (1967)
- 31) WANNENMACHER, E. Zahnerhaltungskunde.
In: O. HOFER, E. REICHENBACH, T.S.
von KREUDENSTEIN und E. WANNEN-
MACHER :
Lehrbuch der klinischen Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde, Bd. II, 4. Aufl.,
Leipzig 1968, J.A. Barth, (S. 537-965)
- 32) WESTPHAL, W.H. Kleines Lehrbuch der Physik.
4. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg
1961, Springer, (S. 111, 123)

VIII. PROTOKOLLE ZU DEN VERSUCHEN

Protokoll 1 : Messungen an Drähten (ϕ 0,1 - 1,2 mm)

ϕ in mm	Skalaanzeige in μA bei:			
	+ 6 mm	+ 3 mm	+ 1 mm	0 bis + 0,5 mm
0,1 mm	41 μA ^{x)}	41 μA	38 μA	34 μA
0,15	42	41,5	40	38,5
0,2	43	43	40,5	39
0,3	44,5	44,5	41	40
0,4	44,5	44,5	41	40
0,5	45	44,5	41,5	40,5
0,6	45,5	45	43	42
0,7	45,5	45	43	42
0,8	45,5	45	44	42
0,9	45,5	45	44	42
1,0	45,5	45,5	44	42
1,2	45,5	45,5	45	43

x) Bei direktem Kontakt beider Elektroden miteinander
Skalaanzeige = 46 μA .

Protokoll 2 : Messungen an "Kanälen" (ϕ 0,1 - 1,2 mm)

ϕ in mm	Skalaanzeige in μA mit Kerr-Nr. 1			Skalaanzeige 40 μA bei mm
	bei + 1 mm	0 bis + 0,5 mm	- 1 mm	
0,1 mm	- y)	-	-	-
0,15	- y)	-	-	-
0,2	40,5 μA x)	40 μA	25 μA	0 mm
0,3	41	40	29	0
0,4	42	40	34	0
0,5	42	40,5	40	- 1
0,6	44	42,0	40	- 1
0,7	44	43	40	- 1
0,8	44,5	44	41	- 2
0,9	44,5	44	43	- 3
1,0	44,5	44,5	43	- 3,5
1,2	45	44,5	43	- 5

x) Bei direktem Kontakt beider Elektroden miteinander
Skalaanzeige = 46 μA .

y) Nicht meßbar, da Kanal zu eng für Kerr-Größe 1 .

Protokoll 3 : Messung der Stromleitfähigkeit und der pH-Werte flüssiger und pastenförmiger Substanzen, die in Wurzelkanälen angetroffen werden können.

Substanz	Skalaanzeige in μA x)	pH-Wert
Calxyl ^R (Kalzium-Hydroxid)	46 μA	12,5
Natrium-Hypochlorit	46	>10
Orostat ^R (Epinephrin)	46	3

Physiologische Kochsalzlösung (0,9 %)	45,5	6
Injektionslösungen für die Lokalanästhesie	45,5	5 - 6
Toxavit ^R	45	6
Blut	44,5	7,3
Speichel	44	7
Leitungswasser (als Vergleichssubstanz)	42	6
Causticin ^R - Flüssigkeit	42	7
Causticin ^R mit Arsen - Rot	42	7
Causticin ^R mit Arsen - Schwarz	42	7
ED 84 ^R (nach WANNENMACHER)	41	6
Ledermix ^R	41	8
Aqua destillata (als Vergleichssubstanz)	35	6,5
Legecain ^R	33	6
Trikresol - Formalin ^R	28	5,5
Wasserstoff - Peroxid (30 %)	23	4,5
Wasserstoff - Peroxid (3 %)	17	5

Trio ^R	5	6
Gingicain ^R	3	6,5
CHKM ^R (Chlorphenol - Kampfer - Menthol)	0	6
Fokaldry ^R	0	5
Kreosot ^R (nach BUCKLEY)	0	5,5
Nelkenöl	0	6
N 2 Medical ^R (nach SARGENTI)	0	6

- x) Bei direktem Kontakt der beiden Elektroden miteinander zeigte das Strommeßgerät einen Wert von 46 μA an. Anode und Kathode wurden jeweils 1 cm tief im Abstand von etwa 1 cm zueinander in die zu testende Substanz getaucht.

Protokoll 4 a : Messungen an 25 Wurzelkanälen extrahierter Zähne ^{x)}

Nr.	Zahn	Länge in mm	40 μ A ^{y)} bei mm	2 mm vor Apex Anzeige in μ A	Bewer- tung	Bemerkungen
1	23 ^{x)}	22 mm	22 mm	38 μ A	+	-
2	16	22	21	35,5	+	Foramen apicale bei 21 mm
3	16	22	22	35	+	-
4	16	19	19	36	+	-
5	26	23	23,5	37	+	-
6	26	22,5	23	36	+	-
7	26	23	23	36,5	+	-
8	44	25	25,5	34	+	-
9	34	23	23	35,5	+	-
10	16	20	20	37	+	-
11	16	20,5	21	35	+	-
12	16	22,5	22	38	+	-
13	33	22	21,5	38,5	+	-
14	13	23	20,5	41	(-)	weiter Kanal Kerr-Größe 11 ^{z)}
15	23	22,5	22,5	38,5	+	-
16	13	27	27	39	+	-
17	17	22	22,5	34	+	-
18	17	18	18,5	35	+	-
19	25	22,5	22,5	37,5	+	-
20	36	25	25	37	+	-
21	36	24	24	36	+	-
22	11	22,5	23	35	+	-
23	23	27	27,5	35,5	+	-
24	31	19	18	38	+	Foramen apicale bei 18 mm
25	44	21,5	21,5	37,5	+	-

x) Zur Kennzeichnung der Zähne werden zweistellige Zahlen verwendet, wobei die erste Zahl den Quadranten (1 = rechter OK, 2 = linker OK, 3 = linker UK, 4 = rechter UK), die zweite den Zahn (1 - 8) angibt.

y) Bei Kurzschluß beider Elektroden Skalaanzeige = 40 μ A.

z) Vergleiche Protokoll 4b, Kerr-Größe 11 .

Protokoll 4b : Messungen an einem 22 mm langen Wurzelkanal während
des Aufbereitens mit Kerr-Räumern Nr. 1 - 15

Kerr- Größe	bei 22 mm Skalaanzeige in μA ^{x)}	40 μA bei mm	mit Kerr 1 40 μA bei mm	mit Kerr 1 bei 22 mm Skalaanzeige in μA
1	40 μA	22 mm	22 mm	40 μA
2	40	22	22	40
3	40	22	22	40
4	40	22	22	40
5	40	22	21,5	40,5
6	40	22	21,5	40,5
7	40,5	21,5	21	41
8	40,5	21,5	21	41
9 ^{y)}	40,5	21,5	21	41
10	41,5	20,5	20	42,5
11	41,5	20	19	42,5
12	41,5	20	19	42,5
13	42	19	18,5	42,5
14	42	19	16,5	43
15	42	19	16,5	43

x) Bei Kurzschluß beider Elektroden Skalaanzeige = 46 μA .

y) Kerr-Größe 9, ϕ an der Spitze ca. 0,5 mm (vgl. auch
Protokoll 1, Draht ϕ 0,5 mm).

Protokoll 5 : Messungen von 250 Wurzelkanälen am Patienten

Erklärungen:

- Spalte 2 : die Patientenangaben erstrecken sich auf das Geschlecht (männlich, weiblich) und das Alter in Jahren.
- Spalte 3 : die Zähne wurden mit zweistelligen Zahlen gekennzeichnet, wobei die erste Zahl den Quadranten (1 = rechter OK, 2 = linker OK, 3 = linker UK, 4 = rechter UK), die zweite Zahl den Zahn (1 - 8) angibt.
- Spalte 5 : das "Meßbild" (= Röntgen-Meßaufnahme) wurde meist bei derjenigen Position des Wurzelkanalinstrumentes aufgenommen, bei der das Amperemeter einen Wert von 40 μ A anzeigte, teils wurde es auch unter Einhaltung der Sicherheitstiefe angefertigt.
- Spalte 6 : Angabe der an Hand der Meßaufnahme ermittelten Zahnlänge.
- Spalte 7 : die "Skalaanzeige" wurde bei derjenigen Position des Wurzelkanalinstrumentes notiert, bei der das Meßbild aufgenommen wurde. Wenn in dieser Spalte kein Wert angegeben ist, so wurde die elektrische Messung erst nach der Meßaufnahme vorgenommen. Es wurde dann in der letzten Spalte ("Bemerkungen") die Skalaanzeige bei der röntgenologisch ermittelten Einführtiefe des Instrumentes in apikaler Position angegeben.
- Spalte 8 : die "Bewertung", d. h. die Brauchbarkeit der elektrischen Meßergebnisse wurde in vier Klassen eingeteilt:
- a) "+" = absolut brauchbar - Position der Räumerspitze 0 bis $\pm$ 0,5 mm vom röntgenologisch sichtbaren Apex bei einer Skalaanzeige von 40 μ A.
 - b) "(+)" = bedingt brauchbar - bei nicht bis zum Apex durchgängigen Kanälen und einer Skalaanzeige unter 40 μ A.
 - c) "(-)" = bedingt unbrauchbar - bei begründbaren Fehlmessungen.
 - d) "- " = absolut unbrauchbar - bei falscher Einstellung des Amperemeters ("Eichfehler", iatrogen).

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
1	m, 47 J.	24, b	Gangrän	23 mm	23 mm
2	m, 47 J.	24, p	Gangrän	23	23
<u>3</u>	m, 42 J.	12	Zyste	24	21
4	m, 59 J.	34	Gangrän	20	20
<u>5</u>	m, 15 J.	11	Parodontit. apical.	25	26
<u>6</u>	m, 15 J.	12	Pulpit. total.	24	23,5
<u>7</u>	w, 51 J.	45	Pulpit. total.	24	22,5
8	m, 30 J.	46, mb	Pulpit. total.	18	18
9	m, 30 J.	46, ml	Pulpit. total.	18	17,5
10	m, 30 J.	46, d	Pulpit. total.	18	19
11	w, 30 J.	34	Pulpit. total.	23	23
12	w, 39 J.	21	Pulpit. partial.	22,5	22
13	w, 49 J.	43	Pulpit. partial.	26	25,5
14	m, 24 J.	45	Pulpit. partial.	18	19
15	w, 17 J.	15	Gangrän	22	20,5
16	w, 49 J.	21	Gangrän	24,5	25
17	m, 19 J.	15	Silikatnekrose	22	21,5
18	w, 20 J.	13	Pulpit. total.	24,5	25,5
19	w, 32 J.	16, db	Pulpit. total.	22	22,5
20	w, 32 J.	16, mb	Pulpit. total.	20	20,5
21	w, 32 J.	16, p	Pulpit. total.	22,5	23
22	m, 45 J.	14, b	Pulpit. partial.	25	24,5
23	m, 45 J.	14, p	Pulpit. partial.	20	24,5
24	w, 53 J.	28	Pulpit. partial.	20	21
25	m, 26 J.	15	Pulpit. partial.	22,5	22,5

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
40 μA	+	---
40	+	---
40	(-)	Zystenflüssigkeit ausgelaufen, Kanal trocken
40	+	(siehe Abb. 7)
40	(-)	weites Foramen apicale, weiter Kanal (Kerr 10)
40	+	(siehe Abb. 8)
37	-	Eichfehler (siehe Abb. 9)
--	+	bei 17,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 17,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 18,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 19 mm Skalaanzeige = 40 μA
41,5	+	bei 21 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
39	(+)	bei 24,5 mm starke Schmerzen, auch beim An- schließen des Mikroamperemeters
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	Schmerzen beim Anschließen des Amperemeters
--	+	bei 25 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 20,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	Schmerzen beim Anschließen des Amperemeters

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
26	m, 35 J.	36, d	Pulpit. coronal.	18	20
27	m, 35 J.	36, mb	Pulpit. coronal.	18	21
28	m, 35 J.	36, ml	Pulpit. coronal.	18	21
29	m, 26 J.	15	Gangrän	21,5	24
30	m, 15 J.	22	Silikatnekrose	23,5	24
31	w, 21 J.	25	Arseneinlage	20,5	20,5
32	m, 25 J.	12	Zyste	25	25
33	w, 26 J.	23	Pulpit. coronal.	24,5	25
34	m, 33 J.	25	Gangrän	22,5	22
35	m, 17 J.	12	Gangrän	22	23
36	w, 35 J.	23	Gangrän	28	27,5
37	m, 28 J.	25	Gangrän	22,5	23,5
38	m, 40 J.	14, p	Pulpit. total.	19	19,5
39	m, 40 J.	14, b	Pulpit. total.	23	22,5
40	w, 37 J.	35	Pulpit. total.	20,5	21
<u>41</u>	m, 8 J.	11	Nekrose n. Trauma	19	23
<u>42</u>	m, 8 J.	21	Nekrose n. Trauma	19	23
43	w, 26 J.	15	Gangrän	20	21,5
44	m, 29 J.	45	Parodontit. apical.	22,5	22
45	w, 70 J.	32	Pulpit. coronal.	18	18
46	w, 26 J.	35	Pulpit. coronal.	23	23,5
47	w, 39 J.	16, mb	Pulpit. coronal.	18	22
48	w, 39 J.	16, db	Pulpit. coronal.	18	23
49	w, 39 J.	16, p	Pulpit. coronal.	18	23,5
50	w, 53 J.	12	Silikatnekrose	22	21,5

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
--	+	bei 20,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 21 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 21,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt
40	+	---
40	+	---
40	+	Zystenflüssigkeit nicht ausgetreten
40	+	---
40	+	---
38	(+)	ab 22 mm starke Schmerzen
40	+	---
36	+	bei 23,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	(-)	weiter Kanal, unvollst. Wurzelwachstum, Kerr-Größe 15 (siehe Abb. 10)
40	(-)	weiter Kanal, unvollst. Wurzelwachstum, Kerr-Größe 15 (siehe Abb. 10)
--	+	bei 21,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
23	+	bei 21,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
24	+	bei 22,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
21	+	bei 23,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
51	w , 33 J.	46, d	Pulpit. coronal.	19	19
52	w , 33 J.	46, ml	Pulpit. coronal.	18	18,5
53	w , 32 J.	24, b	Parodontit. apical.	21	21
54	w , 32 J.	24, p	Parodontit. apical.	22	21
55	m, 25 J.	36, ml	Gangrän	18	22
56	m, 25 J.	36, mb	Gangrän	18	22
57	m, 25 J.	36, d	Gangrän	18	23
58	w , 26 J.	47, mb	Pulpit. coronal.	18	19
59	w , 26 J.	47, ml	Pulpit. coronal.	18	19
60	w , 26 J.	47, d	Pulpit. coronal.	18	19
<u>61</u>	w , 34 J.	45	Gangrän	16	18,5
62	m, 50 J.	45	Pulpit. total.	23	23
63	w , 24 J.	45	Pulpit. coronal.	20	22
64	w , 27 J.	27, mb	Arseneinlage	19	22
65	w , 27 J.	27, db	Arseneinlage	20	20
66	w , 27 J.	27, p	Arseneinlage	20	20
67	w , 23 J.	15	Toxaviteinlage	21	21
68	m, 24 J.	45	Arseneinlage	24	25
69	m, 65 J.	47	Gangrän	24,5	26
70	m, 22 J.	36, d	Gangrän	23	22,5
71	m, 22 J.	36, ml	Gangrän	23	22,5
72	m, 22 J.	36, mb	Gangrän	18	21
73	w , 26 J.	46, mb	Gangrän	20	23
74	w , 26 J.	46, ml	Gangrän	18	23
75	w , 26 J.	46, d	Gangrän	24	24

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	bei 20,5 mm Skalaanzeige = 40 μA , der Kerr- Räumer ließ sich leicht bis 22 mm einführen
40	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt
40	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt
43	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt
38	+	bei 19,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
38	+	bei 19,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
38	+	bei 19 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt (siehe Abb. 11)
40	+	---
--	+	bei 22 mm Skalaanzeige = 40 μA
34	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
40	+	---
37	+	bei 25 mm Skalaanzeige = 40 μA
38	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
32	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
36	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
32	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
76	w, 19 J.	45	Pulpit. coronal.	18	19,5
77	m, 14 J.	31	Parodontit. apical.	20	18
78	w, 21 J.	44	Gangrän	21	21,5
79	m, 22 J.	11	Pulpit. total.	27	27
80	w, 19 J.	11	Parodontit. apical.	25	25
81	m, 15 J.	21	Pulpit. total.	24	23,5
82	w, 27 J.	25	Pulpit. total.	20	22,5
83	w, 22 J.	15	Pulpit. coronal.	22	22
84	m, 15 J.	14, p	Pulpit. coronal.	20,5	21
85	m, 15 J.	14, b	Pulpit. coronal.	20	20,5
86	w, 19 J.	21	Gangrän	24,5	24,5
87	m, 26 J.	23	Parodontit. apical.	23	23,5
88	m, 21 J.	45	Gangrän	22,5	23,5
89	m, 49 J.	35	Zyste	27	27
90	w, 46 J.	25	Parodontit. apical.	20	18,5
91	w, 18 J.	11	Parodontit. apical.	24	24
92	w, 29 J.	14	alte Wurzelfüllung	23	23
93	w, 38 J.	33	Gangrän	24	24
94	w, 41 J.	36, ml	Toxaviteinlage	22	24
95	w, 41 J.	36, mb	Toxaviteinlage	20	22
96	w, 41 J.	36, d	Toxaviteinlage	22	26
97	w, 56 J.	13	Parodontit. apical.	25	24
98	m, 16 J.	35	Pulpit. total.	23	23
99	m, 27 J.	21	Parodontit. apical.	26,5	27
100	m, 27 J.	44	alte Wurzelfüllung	18	22

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
36	+	bei 19 mm Skalaanzeige = 40 μA
45	(-)	Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt, bei 6 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 23 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
38	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
--	+	bei 18 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
36	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
36	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
32	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
42	+	bei 24 mm Skalaanzeige = 40 μA , der Rümer ließ sich leicht bis 25 mm einführen
40	+	---
40	+	---
25	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
101	m, 24 J.	44	Parodontit. apical.	22	24
102	w, 27 J.	35	Pulpit. total.	24	22, 5
103	w, 22 J.	15	Pulpit. total.	20	18
104	m, 73 J.	35	Pulpit. total.	20	23
105	m, 29 J.	42	Pulpit. total.	18	18
106	m, 29 J.	41	Pulpit. total.	17, 5	17, 5
107	m, 29 J.	31	Pulpit. total.	18	18
108	m, 29 J.	32	Pulpit. total.	19	19
109	m, 28 J.	12	Parodontit. apical.	21	21
110	m, 29 J.	35	Gangrän	23	26
<u>111</u>	m, 68 J.	33	Parodontit. apical.	22	22
112	w, 62 J.	23	Parodontit. apical.	22	22, 5
113	w, 48 J.	25	Parodontit. apical.	24	22
114	w, 27 J.	27, p	Arseneinlage	21, 5	22
115	w, 27 J.	27, db	Arseneinlage	20	23
116	w, 27 J.	27, mb	Arseneinlage	21, 5	23
<u>117</u>	w, 37 J.	44	Pulpit. ulcerosa et Granuloma interna	19	19, 5
118	w, 32 J.	16, p	Pulpit. total.	22	22
119	w, 32 J.	16, db	Pulpit. total.	18	20
120	w, 32 J.	16, mb	Pulpit. total.	19	20
121	w, 56 J.	23	Pulpit. total.	24	23
122	w, 19 J.	11	Zyste	22	22
123	w, 19 J.	21	Parodontit. apical.	22	22
124	m, 35 J.	22	Parodontit. apical.	20	24
125	w, 29 J.	24, b	Pulpit. total.	22	22

Skalaanzeige in μA	Bewert- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
36	+	bei 24 mm Skalaanzeige = 40 μA
39	-	Eichfehler
--	+	bei 18 mm Skalaanzeige = 40 μA
28	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	--- (Skalaanzeige bei Kurzschluß = 46 μA)
40	(-)	{ Kanal bereits mit Hypochlorit behandelt { bei 26 mm Skalaanzeige = 43 μA
40	+	{ bei Kontakt des Räumers mit der Metallkrone bei { 22 mm Skalaanzeige = 43 μA (Abb. 12)
40	+	---
--	+	bei 22 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
34	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
36	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	absolute Zahnlänge nach Extraktion gemessen = 19,5 mm (Abb. 13)
40	+	---
35	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
37	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
44	(-)	wegen Metallkrone bei 12 mm Skalaanzeige bereits 43 μA
40	+	---
40	+	---
38	+	bei 24 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	Klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
126	w, 29 J.	24, p	Pulpit. total.	22	22
127	m, 22 J.	12	Kronenfraktur	24	24
128	m, 22 J.	23	Nekrose n. Trauma	27	29,5
129	m, 19 J.	11	Zyste	29	28,5
130	w, 45 J.	24, b	Parodontit. apical.	19	19,5
131	w, 45 J.	24, p	Parodontit. apical.	19	19
132	m, 29 J.	14, b	Pulpit. coronal.	22	22
133	m, 29 J.	14, p	Pulpit. coronal.	21	21,5
134	m, 22 J.	42	Kronenfraktur	27	26,5
135	m, 22 J.	41	Kronenfraktur	23	23
136	m, 22 J.	31	Kronenfraktur	23	23
137	w, 24 J.	21	Silikatnekrose	24	25
138	w, 23 J.	35	Gangrän	25	25
139	m, 19 J.	32	Pulpit. coronal.	25	26
140	m, 19 J.	42	Pulpit. coronal.	18	22,5
141	m, 31 J.	31	Nekrose n. Trauma	18	19
142	m, 40 J.	13	Parodontit. apical.	24	23,5
143	w, 16 J.	11	Pulpit. total.	26	26
<u>144</u>	w, 31 J.	12	Zyste	24	21,5
145	m, 43 J.	11	Zyste	20,5	20
146	m, 43 J.	12	Zyste	22,5	22,5
147	w, 17 J.	21	Parodontit. apical.	20	20
148	w, 18 J.	25	Pulpit. total.	18	18,5
149	m, 68 J.	21	Parodontit. apical.	25	25
150	m, 18 J.	11	Parodontit. apical.	24	24

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
151	m, 24 J.	25, b	Pulpit. total.	21	21,5
152	m, 24 J.	25, p	Pulpit. total.	20,5	21
153	w, 67 J.	43	Parodontit. apical.	24	24
154	w, 18 J.	12	Zyste	21	21
155	m, 18 J.	21	Kronenfraktur	25	25,5
156	w, 16 J.	12	Zyste	18	20,5
157	w, 16 J.	23	Gangrän	25	24,5
158	m, 16 J.	14, b	Parodontit. apical.	20	20
159	w, 34 J.	35	Gangrän	22	22,5
160	w, 19 J.	11	Parodontit. apical.	20	18
161	m, 62 J.	23	Parodontit. apical.	28	27,5
162	w, 37 J.	35	Parodontit. apical.	20	20,5
163	w, 22 J.	23	Pulpit. total.	22	24,5
164	w, 19 J.	14, b	Pulpit. total.	20	18
165	w, 19 J.	14, p	Pulpit. total.	20	18
166	w, 19 J.	16, p	Parodontit. apical.	22	22
167	w, 19 J.	16, mb	Parodontit. apical.	19	21
168	w, 19 J.	16, db	Parodontit. apical.	19,5	20
169	w, 11 J.	22	Pulpit. total.	22	22,5
170	w, 15 J.	11	Parodontit. apical.	20	19,5
171	w, 15 J.	12	Parodontit. apical.	18	17
172	m, 28 J.	14, b	Gangrän	20,5	20
173	m, 28 J.	14, p	Gangrän	18	19
174	w, 30 J.	15	Gangrän	24	23,5
175	w, 26 J.	47, d	Gangrän	20	18,5

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 20,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 18 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 25 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 18 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 18 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
25	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
--	+	bei 19,5 mm Skalaanzeige = 40 μA
--	+	bei 17 mm Skalaanzeige = 40 μA
40	+	---
38	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
--	+	bei 18,5 mm Skalaanzeige = 40 μA

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
176	w , 26 J.	47, ml	Gangrän	20	20
177	w , 26 J.	47, mb	Gangrän	20	20
178	w , 30 J.	21	alte Wurzelfüllung	20	23
179	m 19 J.	22	Pulpit. total.	18	24,5
180	m, 28 J.	45	Pulpit. coronal.	18	19,5
181	m, 30 J.	13	Zyste	26	27,5
182	m, 15 J.	12	Zyste	24	22,5
183	w , 19 J.	45	Pulpit. total.	23	23
<u>184</u>	m, 27 J.	22	Zyste	23	22,5
185	w , 15 J.	11	Gangrän	23,5	23,5
186	w , 15 J.	21	Gangrän	23,5	24
187	w , 23 J.	27, p	Parodontit. apical.	23	22,5
188	w , 23 J.	27, mb	Gangrän	22	22
189	w , 23 J.	27, db	Gangrän	22	23
190	m, 45 J.	23	Gangrän	29	29,5
191	w , 22 J.	11	Parodontit. apical.	23	23
192	w , 17 J.	13	Zyste	22	25
193	w , 17 J.	11	Zyste	22	22
194	w , 17 J.	21	Zyste	23	22
195	w , 17 J.	22	Zyste	20	21
<u>196</u>	w , 30 J.	44	Pulpit. total.	21	21
<u>197</u>	m, 32 J.	33	Parodontit. apical.	27	27
<u>198</u>	m, 32 J.	34	Wurzelfraktur	20	23
199	m, 34 J.	15	Pulpit. total.	22	20
200	m, 34 J.	24, b	Gangrän	21	21

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
40	+	---
40	+	---
30	+	bei 23 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
--	+	bei 24 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
36	+	bei 19,5 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
38	+	bei 27 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
43	+	bei 23 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$, Kerr-Räumer wurde bis zur Schmerzgrenze vorgetrieben
40	+	---
40	+	(siehe Abb. 15)
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
38	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
32	+	bei 25 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	---
--	+	bei 22,5 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
--	+	bei 21,5 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	(siehe Abb. 16)
40	+	(siehe Abb. 17)
30	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig (Abb. 17)
37	-	Eichfehler; Batteriespannung stark abgefallen, da Gerät 1 Tag eingeschaltet war
40	+	---

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
201	m, 34 J.	24, p	Gangrän	21	21,5
<u>202</u>	m, 26 J.	47, d	Gangrän	20	22,5
<u>203</u>	m, 26 J.	47, mb	Gangrän	20	21,5
<u>204</u>	m, 26 J.	47, ml	Gangrän	18	21,5
205	m, 36 J.	22	alte WF und Zyste	22	22,5
206	m, 23 J.	25	Pulpit. coronal.	25	24,5
207	w, 32 J.	23	Gangrän	17	17
208	m, 30 J.	35	Pulpit. coronal.	20	21,5
209	m, 27 J.	46, d	Parodontit. apical.	20	20,5
210	m, 27 J.	46, ml	Parodontit. apical.	17	21
211	m, 27 J.	46, mb	Parodontit. apical.	18	21
<u>212</u>	w, 19 J.	11	replantierter Zahn	19	19,5
213	w, 39 J.	22	Pulpit. total.	17,5	17
214	m, 57 J.	44	Parodontit. apical.	18	21
215	m, 57 J.	45	Parodontit. apical.	18	20
<u>216</u>	m, 36 J.	22	Pulpit. total.	24	24
<u>217</u>	w, 57 J.	15	Parodontit. apical.	20	20
218	w, 30 J.	46, d	Pulpit. total.	18	18
219	w, 30 J.	46, ml	Pulpit. total.	18	18,5
220	w, 30 J.	46, mb	Pulpit. total.	18	18,5
221	w, 35 J.	22	Gangrän	20	20
<u>222</u>	w, 42 J.	12	Zyste	19	19
223	w, 22 J.	46, d	Parodontit. apical.	18	19,5
224	w, 22 J.	46, ml	Parodontit. apical.	18	19,5
225	w, 22 J.	46, mb	Parodontit. apical.	18	19

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
40	+	---
35	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig (Abb. 18)
38	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig (Abb. 18)
42	+	bei 17 mm (Perforation!) Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$ (Abb. 18)
40	+	---
40	+	---
40	+	---
37	+	bei 22 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	---
34	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
35	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	(siehe Abb. 19)
40	+	---
--	+	bei 21 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
--	+	bei 20,5 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	(siehe Abb. 20)
40	+	(siehe Abb. 21)
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	(siehe Abb. 22)
34	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
--	+	bei 19 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
--	+	bei 19 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$

Nr.	Patient	Zahn, Kanal	klinische Diagnose	Meßbild bei mm	Zahnlänge in mm
226	w, 33 J.	37, d	Parodontit. apical.	18	19,5
227	w, 33 J.	37, ml	Parodontit. apical.	18	18,5
228	w, 33 J.	37, mb	Parodontit. apical.	18	18,5
<u>229</u>	m, 8 J.	11	Pulpit. partial. (Kronenfraktur)	18	26
<u>230</u>	m, 8 J.	21	Pulpit. partial. (Kronenfraktur)	18	26
231	w, 26 J.	24, b	Pulpit. total.	21	21
232	w, 26 J.	24, p	Pulpit. total.	17	20
233	w, 26 J.	36, d	Parodontit. apical.	20	20
234	w, 26 J.	36, ml	Parodontit. apical.	18	18
235	w, 26 J.	36, mb	Parodontit. apical.	18	18
236	m, 33 J.	46, d	Gangrän	20	20,5
237	m, 33 J.	46, ml	Gangrän	16,5	19
238	m, 33 J.	46, mb	Gangrän	18	18,5
239	w, 34 J.	11	Gangrän	24	24,5
<u>240</u>	m, 22 J.	11	Zyste	25	25
<u>241</u>	m, 22 J.	21	Zyste	25	25,5
<u>242</u>	m, 22 J.	22	Zyste	24	24
243	m, 25 J.	15	Gangrän	20	20,5
244	m, 34 J.	36, d	Pulpit. coronal.	18	23
245	m, 34 J.	36, ml	Pulpit. coronal.	18	23
246	m, 34 J.	36, mb	Pulpit. coronal.	18	22
247	w, 28 J.	14, p	Pulpit. total.	22	22
248	w, 28 J.	14, b	Pulpit. total.	22	22
249	m, 38 J.	21	Parodontit. apical.	23	23
250	m, 38 J.	22	Parodontit. apical.	23	23

Skalaanzeige in μA	Bewer- tung	Bemerkungen bzw. Fehlerursachen
--	+	bei 19 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	---
40	+	---
40	(-)	weiter Kanal, über Kerr-Größe 15 (Abb. 23)
40	(-)	weiter Kanal, über Kerr-Größe 15 (Abb. 23)
40	+	---
31	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---
35	(+)	Kanal nicht weiter durchgängig
40	+	---
40	+	---
40	+	(siehe Abb. 24)
40	+	(siehe Abb. 24)
40	+	(siehe Abb. 24)
40	+	---
--	+	bei 23 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
24	(+)	Kanal nur bis 18 mm durchgängig
--	+	bei 22 mm Skalaanzeige = $40 \mu\text{A}$
40	+	---
40	+	---
40	+	---
40	+	---

LEBENS LAUF

Am 5. Januar 1944 wurde ich, Horst Lechner, als Sohn der kaufmännischen Angestellten Lissy Menze, geb. Lechner, in Ansbach geboren.

Von 1950 bis 1956 besuchte ich die Scharrer-Volksschule in Nürnberg, trat 1956 in das Deutsche Gymnasium in Schwabach ein und legte dort im Juni 1963 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1963/64 begann ich an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen das Studium der Zahnheilkunde, legte dort im Frühjahr 1967 die zahnärztliche Vorprüfung, im ersten Halbjahr 1970 das Staatsexamen ab und erhielt am 15. Juli 1970 die Bestallung als Zahnarzt.

Am 3.8.1966 heiratete ich Gertraud Löhlein aus Nürnberg.

Seit 16.7.1970 bin ich als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle in der Abteilung für Zahnerhaltung der Universitäts-Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkranke in Erlangen angestellt.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990